

# **Technická univerzita v Liberci**

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802T007 – Informační technologie

## **Zhodnocení přínosu alternativních paliv v automobilovém průmyslu pomocí metody analýzy nákladů životního cyklu**

**Evaluation of the benefits of alternative fuels in the  
automotive industry using the life-cycle cost analysis**

### **Diplomová práce**

Autor:	<b>Bc. Lukáš Zdařil</b>
Vedoucí práce:	Ing. Jan Kamenický, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Hana Čermáková, CSc.
V Liberci:	18. 05. 2012

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 18. 05. 2012

Podpis:

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Janu Kamenickému, Ph.D., za cenné připomínky a rady, které přispěly ke zkvalitnění této práce.

Dále bych rád poděkoval celé mé rodině, která mě podporovala během mého studia.

Podpis:

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá náklady životního cyklu automobilů rozdílných typů pohonů. Cílem práce je tvorba modelu, jehož výstupem budou údaje, sloužící ke zhodnocení nákladů na vybraný typ pohonu během jeho uvažované technické životnosti. Model umožňuje vzájemné srovnání nákladů na provoz alternativních a konvenčních pohonů.

Mezi důležité datové výstupy modelu patří náklady na ujetý kilometr, návratnost investice v kilometrech a úspora nákladů, vztažená k referenčnímu automobilu s konvenčním typem pohonu za celkovou dobu technického života automobilu. Pro potřeby modelu vytvořil diplomant aplikaci, do které uživatel zadá požadované vstupní parametry a získá výše zmíněné výstupy. V zájmu přehlednosti a rychlosti porovnání nákladů životního cyklu jednotlivých rozhodovacích variant je reprezentace vybraných výstupů modelu provedena rovněž v grafické formě. Vytvořený model umožňuje porovnat náklady zvolených typů pohonů a usnadňuje rozhodování při výběru optimální varianty pohonu pro potenciální uživatele.

Klíčová slova: automobil, alternativní palivo, náklady, životní cyklus, rozhodování

## **Abstract**

This thesis deals with the lifecycle costs of cars with different types of engines. The work is focused on creating a suitable model of life-cycle costs for cars. The main goal is to create economic evaluation model of investments in alternative drives. The model allows comparison between the operating costs of alternative and conventional drives.

Important model output data are the costs per kilometer, economic return of investment in kilometers and cost savings compared to a reference car with a conventional type of propulsion for a period of technical life. For the purpose of the model there was created an application to which the user enters the required input parameters and gets the output mentioned above. On behalf of the clarity and speed of comparison of the life cycle costs of each decision there is a representation of variants of selected model outputs also carried out in the graphical form. This model considers the number of input variables, which may significantly affect the final cost of automobile traffic and influence the user's decision-making.

Keywords: car, alternative fuel costs, life cycle, decision making

## Obsah

<b>Prohlášení .....</b>	<b>3</b>
<b>Poděkování .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstrakt .....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>5</b>
<b>Obsah .....</b>	<b>6</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>8</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam zkratk a značek .....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam použitých symbolů .....</b>	<b>11</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>12</b>
<b>1 Skupina uvažovaných paliv .....</b>	<b>14</b>
1.1 Biopaliva .....	14
1.2 Zkapalněný ropný plyn ( <i>LPG</i> ) .....	15
1.3 Stlačený zemní plyn ( <i>CNG</i> ) .....	17
1.4 Elektromobil / Hybridní pohon .....	18
<b>2 Analýza nákladů životního cyklu .....</b>	<b>19</b>
2.1 Vstupní hodnoty do modelu <i>LCC</i> .....	22
2.2 Výstupní hodnoty modelu <i>LCC</i> .....	25
<b>3 Představení modelu nákladů životního cyklu .....</b>	<b>28</b>
3.1 Popis aplikace.....	28
3.2 Vstupy do modelu nákladů životního cyklu.....	30
3.2.1 Referenční typ pohonu .....	31
3.2.2 Alternativní typ pohonu .....	31
3.2.3 Servisní náklady.....	36
3.3 Výstupy z modelu nákladů životního cyklu .....	37
<b>4 LCC analýza nových automobilů .....</b>	<b>39</b>
4.1 Automobily spalující biopaliva .....	40
4.1.1 Zhodnocení nákupu automobilu spalujícího bioetanol .....	45
4.2 Automobily spalující <i>LPG</i> .....	46
4.2.1 Zhodnocení nákupu automobilu spalujícího <i>LPG</i> .....	50
4.3 Automobily spalující <i>CNG</i> .....	51
4.3.1 Autobus spalující <i>CNG</i> .....	54

4.3.2	Zhodnocení nákupu automobilu spalujícího <i>CNG</i> .....	55
4.4	Elektromobily a hybridní automobily .....	56
4.4.1	Zhodnocení nákupu elektromobilu a hybridního automobilu.....	61
<b>5</b>	<b><i>LCC</i> analýza přestavby automobilů.....</b>	<b>63</b>
5.1	Přestavba automobilu na bioetanol .....	63
5.1.1	Náklady na přestavbu.....	63
5.1.2	Možná rizika plynoucí z přestavby automobilu na bioetanol .....	64
5.1.3	<i>LCC</i> analýza přestavby automobilu na palivo <i>E85</i> .....	65
5.1.4	Zhodnocení přestavby automobilu.....	67
5.2	Přestavba na palivo <i>LPG</i> .....	68
5.2.1	Náklady na přestavbu.....	69
5.2.2	Možná rizika plynoucí z přestavby automobilu na <i>LPG</i> .....	71
5.2.3	<i>LCC</i> analýza přestavby automobilu na <i>LPG</i> .....	71
5.2.4	Zhodnocení přestavby automobilu na <i>LPG</i> .....	76
5.3	Přestavba na palivo <i>CNG</i> .....	77
5.3.1	Náklady na přestavbu.....	77
5.3.2	Možná rizika plynoucí z přestavby automobilu na <i>CNG</i> .....	78
5.3.3	<i>LCC</i> analýza přestavby automobilu na <i>CNG</i> .....	78
5.3.4	Zhodnocení přestavby automobilu na <i>CNG</i> .....	80
5.4	Přestavba na automobil poháněný elektrickou energií.....	81
<b>6</b>	<b>Zhodnocení dosažených výsledků .....</b>	<b>82</b>
6.1	Výhodnost jednotlivých typů pohonu .....	82
6.2	Porovnání výstupů modelu <i>LCC</i> s výsledky jiných autorů.....	88
	<b>Závěr .....</b>	<b>92</b>
	<b>Zdroje.....</b>	<b>94</b>
	<b>Příloha A – Obsah CD .....</b>	<b>102</b>
	<b>Příloha B – Model <i>LCC</i> .....</b>	<b>103</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1: Barevné provedení samolepek pro označení automobilu spalujícího <i>LPG</i> .....	16
Obr. 2: Barevné provedení samolepek pro označení automobilu spalujícího <i>CNG</i> .....	17
Obr. 3: Struktura nákladů.....	24
Obr. 4: Náklady <i>LCC</i> .....	28
Obr. 5: Společné náklady.....	30
Obr. 6: Ref. automobil .....	31
Obr. 7: Vstupní data závislá na typu pohonu.....	32
Obr. 8: Servisní náklady .....	36
Obr. 9: Přidej položku.....	37
Obr. 10: Přidej položku - vícenáklad .....	37
Obr. 11: Kumulované náklady.....	38
Obr. 12: Nové automobily - 100% podíl paliva <i>E85</i> pro verze <i>FFV</i> a <i>MultiFuel</i> .....	43
Obr. 13: Nový automobil - 95% podíl paliva <i>E85</i> pro verzi <i>FFV</i> .....	44
Obr. 14: Nové automobily – změny ve struktuře nákladů pro verze <i>FFV</i> a <i>MultiFuel</i> ..	44
Obr. 15: Nový automobil - 95% podíl paliva <i>LPG</i> pro verzi <i>Bi-fuel</i> .....	49
Obr. 16: Nový automobil – změny ve struktuře nákladů pro verzi <i>Bi-fuel</i> .....	50
Obr. 17: Nový automobil – 100% podíl paliva pro verzi <i>CNG</i> .....	52
Obr. 18: Nový automobil – změny ve struktuře nákladů pro verzi <i>CNG</i> .....	54
Obr. 19: Nové automobily – elektromobil a hybrid.....	59
Obr. 20: Změny ve struktuře nákladů pro elektromobil a hybrid .....	59
Obr. 21: Změny ve struktuře nákladů – elektromobil a hybrid – bez výměny baterií....	61
Obr. 22: Přestavba - 95% podíl paliva <i>E85</i> pro přestavovaný automobil.....	66
Obr. 23: Přestavba – změny ve struktuře nákladů pro pohon na palivo <i>E85</i> .....	67
Obr. 24: Přestavba – 95% podíl jízdy na <i>LPG</i> pro přestavované automobily .....	73
Obr. 25: Přestavba – změny ve struktuře nákladů pro pohon na palivo <i>LPG</i> (var. 1)....	74
Obr. 26: Přestavba – změny ve struktuře nákladů pro pohon na palivo <i>LPG</i> (var. 2)....	76
Obr. 27: Přestavba – 100% podíl paliva <i>CNG</i> pro přestavovaný automobil .....	79
Obr. 28: Přestavba – změny ve struktuře nákladů pro pohon na palivo <i>CNG</i> .....	80
Obr. 29: Nové automobily - náklady životního cyklu pro jednotlivé typy pohonů.....	85
Obr. 30: Nové automobily - kumulované náklady jednotlivé typy pohonů .....	86
Obr. 31: Přestavba - náklady životního cyklu pro jednotlivé typy pohonů .....	87
Obr. 32: Přestavba - kumulované náklady pro jednotlivé typy pohonů .....	88

Obr. 33: Srovnání s výsledky jiných autorů - náklady na ujetý kilometr pro <i>LPG</i> .....	89
Obr. 34: Srovnání s výsledky jiných autorů - náklady na ujetý kilometr pro <i>CNG</i> .....	91

## Seznam tabulek

Tab. 1: Soubor nákladových položek pro pohon na palivo <i>E85</i> .....	42
Tab. 2: Vstupní hodnoty do <i>LCC</i> analýzy pro pohon na palivo <i>E85</i> .....	42
Tab. 3: Vstupní hodnoty do <i>LCC</i> analýzy pro pohon na palivo <i>LPG</i> .....	47
Tab. 4: Vstupní hodnoty do <i>LCC</i> analýzy pro pohon na <i>CNG</i> .....	52
Tab. 5: Vstupní hodnoty do modelu <i>LCC</i> pro autobus spalující <i>CNG</i> .....	54
Tab. 6: Vstupní hodnoty do modelu <i>LCC</i> pro elektromobil a hybridní pohon.....	58
Tab. 7: Vstupní hodnoty do analýzy <i>LCC</i> pro přestavbu pohonu na palivo <i>E85</i> .....	65
Tab. 8: Vstupní hodnoty do analýzy <i>LCC</i> pro přestavbu pohonu na palivo <i>LPG</i> (var. 1) .....	72
Tab. 9: Vstupní hodnoty do analýzy <i>LCC</i> pro přestavbu pohonu na palivo <i>LPG</i> (var. 2) .....	75
Tab. 10: Vstupní hodnoty do analýzy <i>LCC</i> pro přestavbu pohonu na palivo <i>CNG</i> .....	79
Tab. 11: Vzájemné srovnání nákladů životního cyklu pro jednotlivé typy pohonů .....	85
Tab. 12: Vzájemné srovnání nákladů životního cyklu pro přestavěné typy pohonů .....	86



## Seznam zkratk a značek

<i>CVT</i>	Continuously Variable Transmission průběžně měnitelný převod
<i>FAME</i>	Fatty Acid Methyl Ester metylester řepkového oleje
<i>FFV</i>	Flexible Fuel Vehicle označení automobilů schopných spalovat benzín, etanol nebo jejich kombinaci
<i>FSI</i>	Fuel Stratified Injection vrstvené vstřikování paliva
<i>LCC</i>	Life Cycle Cost náklady životního cyklu
<i>LPG</i>	Liquefied Petroleum Gas zkapalněný ropný plyn
<i>MAP</i>	Manifold Absolute Pressure absolutní tlak v sacím potrubí
<i>MPI</i>	Multi-point fuel injection vícebodové vstřikování paliva
<i>OČMM</i>	oktanové číslo motorovou metodou
<i>OČVM</i>	oktanové číslo výzkumnou metodou
<i>STK</i>	stanice technické kontroly
<i>TSI</i>	Twincharged Stratified Injection přímý vstřik paliva a dvojitým přeplňováním

## Seznam použitých symbolů

<i>CA</i>	Cena alternativního typu paliva
<i>CD</i>	Cena dílu nebo servisního úkonu (revize)
<i>CK</i>	Cena konvenčního typu paliva
<i>CP</i>	Cena práce
	CPNS Celkový počet návštěv servisu (po dobu plánované technické životnosti pohonu automobilu)
<i>DN</i>	Dodatečné náklady
<i>FOCZ</i>	Finanční ohodnocení časové ztráty (zajištění servisu)
<i>NC</i>	Finanční ohodnocení časové ztráty (zajištění paliva)
<i>NI</i>	Návratnost investice
<i>NUK</i>	Náklady na ujetý kilometr
<i>PA</i>	Podíl alternativního paliva na celkovém kilometrovém proběhu
<i>PC</i>	Počet dobíjení nebo čerpání pohonných hmot
<i>PK</i>	Počet najetých kilometrů (po dobu plánované technické životnosti pohonu automobilu)
<i>PN</i>	Pořizovací náklady
<i>PV</i>	Počet výměn dílu nebo servisních prohlídek (po dobu plánované technické životnosti pohonu automobilu)
<i>SA</i>	Kombinovaná spotřeba automobilu (alternativní typ paliva)
<i>Sb</i>	Objem spotřebovaného benzínu pro ohřátí chladicí kapaliny
<i>SK</i>	Kombinovaná spotřeba automobilu (konvenční typ paliva)
<i>Sp</i>	Spotřeba paliva do ohřátí chladicí kapaliny
<i>Ss</i>	Počet studených startů
<i>T</i>	Doba plánované technické životnosti pohonu
<i>VN</i>	Vlastnické náklady

# Úvod

Vzrůstající cena konvenčních paliv nutí uživatele automobilů k úsporám. Současně se klade v mnoha státech a zejména v Evropské Unii (dále jen *EU*) důraz na ekologii. Tyto faktory vedou k propagaci alternativních typů pohonů. Vzhledem k daňovým zvýhodněním alternativních typů paliv, roste současně zájem o alternativní typy pohonů. Důležitým faktorem při volbě paliva, resp. pohonu, je cena za ujetý kilometr. Správný výběr vhodného typu pohonu může vést ke značným provozním úsporám. Sledovanými faktory mohou být např. náklady na ujetý kilometr, servisní náklady nebo pořizovací náklady.

Zcela běžné jsou kalkulátory, které zpravidla uvažují pouze pořizovací náklady na uvažovaný alternativní systém pohonu, ceny porovnávaných paliv a spotřeby konvenčního paliva a jeho uvažované náhrady. Tento výpočet je velmi jednoduchý a neuvažuje důležité nákladové položky, čímž může dávat přehnaně optimistické výsledky.

Tato práce se zabývá náklady na provoz automobilu v závislosti na vybraných typech pohonů. Předmětem zájmu byla výhodnost systémů užívajících alternativní paliva, popř. elektrickou energii, pro pohon automobilů.

Hlavním cílem této práce je vytvoření modelu, který zpřesní výše uvedené kalkulátory a obsáhne všechny relevantní náklady, které by mohly výrazněji ovlivnit celkové náklady životního cyklu pro uvažovaný typ pohonu, a tím i rozhodnutí o případné investici do užití alternativního typu pohonu. Pro návrh a tvorbu modelu bude použita norma zabývající se analýzou nákladů životního cyklu [1]. V souladu s touto normou budou náklady děleny na pořizovací, provozní a náklady na likvidaci. Z těchto dílčích nákladových položek se následně určí náklady celého životního cyklu. Z výstupů práce bude patrná výhodnost jednotlivých uvažovaných alternativních typů pohonů v závislosti na vstupních parametrech, které do modelu zadá potenciální uživatel automobilu s alternativním pohonem.

Vytvořený model je interaktivní a umožní predikci nákladů na základě dat zadaných uživatelem. Jedná se zejména o data, související se zamýšleným užitím automobilu. Mezi důležité numerické hodnoty poskytované modelem patří náklady na ujetý kilometr, náklady životního cyklu pohonu automobilu a návratnost investice

v kilometrovém proběhu. Grafická reprezentace numerických výstupů modelu je použita pro potřeby vzájemného srovnání. V rámci jednotlivých kapitol práce budou uvedeny ukázky výpočtů některých nákladů, které jsou použity ve vlastním modelu.

Závěrečná část práce se zabývá srovnáním výsledků modelu s výsledky jiných autorů a zhodnocením přínosů jednotlivých typů pohonu.

# 1 Skupina uvažovaných paliv

Tato práce se zabývá palivy, užívanými běžně na našem území. V současné době převládá zájem o benzínové motory a velké oblibě se rovněž dostává diesellovým motorům, jejichž podíl na trhu pomalu roste.

V roce 2010 bylo na českém trhu prodáno 57% benzínových a 40% naftových motorů. Zbývá 3 % připadají na automobily upravené pro spalování alternativních paliv nebo pro automobily využívající alternativní pohon. [2]

Snahou *EU* je podpořit alternativní paliva a zbavit se tak závislosti na ropě [3]. Z tohoto důvodu byla některá alternativní paliva v roce 2009 osvobozena od spotřební daně [4], což mělo za následek pokles jejich cen. Trh na tuto změnu reaguje velmi pozvolna.

Alternativní paliva se dělí do dvou základních skupin, a to na paliva plynná a kapalná (biopaliva) [5]. Mezi uvažovaná plynná paliva patří stlačený zemní plyn (*CNG*) a ropný plyn. Ropný plyn lze snadno převést do kapalného stavu, ve kterém se přepravuje a prodává. Zkapalněný ropný plyn se nejčastěji označuje zkratkou *LPG*. Mezi uvažovaná biopaliva patří směs bioetanolu a benzínu prodávaná pod názvem *E85*.

Na ropě zcela nezávislé zdroje energie pro pohon automobilů jsou představovány palivem *CNG* a elektrickou energií. Tyto zdroje jsou buď nevyčerpatelné (např. sluneční energie) nebo je jejich zásoba v řádu několika set let [6].

## 1.1 Biopaliva

Biopaliva se pro pohon automobilů používají již více než 110 let. Na našem území se biopaliva používala k pohonu benzínových motorů v letech 1922 – 1950, přičemž od roku 1932 bylo přimíchávání biosložky do benzínu povinné ve výši 20 %. V roce 1950 nicméně zcela zaniklo používání lihobenzínových směsí, neboť již nehrozil nedostatek ropy. Po roce 1989 se zájem o biopaliva opět zvyšoval a snaha snížit závislost na ropě vedla později k opětovnému povinnému přimíchávání biosložky do konvenčních typů paliv. [7]

Zdrojem biopaliv první generace je biomasa. Biomasa představuje obnovitelný energetický zdroj, který je prakticky nevyčerpatelný. Biomasa je veškerá hmota organismů na Zemi. Základním producentem biomasy jsou rostliny. Bioetanol, jako

jeden druh biopaliva, se vyrábí z běžných zemědělských plodin jako je např. obilí, cukrová řepa, cukrová třtina a kukuřice [8].

Bioetanol se povinně přimíchává do benzínu od roku 2008. U motorové nafty se začalo s povinným přimícháváním biosložky (*FAME*) již v roce 2007. [9]

Původní podíl biosložky u automobilového benzínu a motorové nafty byl přibližně 2 %. V roce 2009 byl tento podíl zvýšen u benzínu na 3,5 % a u nafty na 4,5 %. Zatím poslední úprava podílu biosložky v konvenčních palivech byla v roce 2010. Nově je podíl biosložky 4,1 % u benzínu a 6,3 % u nafty. [10]

Přidávání biosložky do konvenčních paliv představuje jednoduchý způsob, jak se alespoň částečně zbavit závislosti na ropě. Dalším krokem jak snížit závislost na ropě je například užití paliva s výrazným podílem biosložky, např. palivo *E85*. Palivo *E85* je tvořeno směsí bioetanolu a benzínu. Podíl bioetanolu v palivu *E85* může dosahovat až 85 %. Moderní automobil spalující benzín zvládne bez úprav spalovat palivo s obsahem biosložky do 10 %. Starší automobily by mohly mít při takové koncentraci technické problémy. [6]

Paliva na bázi etanolu jsou populární jak v USA, tak v Evropě a jejich obliba pomalu roste [11]. Palivo s označením *E85* lze tankovat na mnoha místech naší republiky. Automobily schopné spalovat palivo s vysokým podílem biosložky, se označují jako flexible fuel vehicle (*FFV*) nebo multi-fuel vehicle. Vzhledem k omezenému výběru nových, od výroby upravených automobilů pro spalování bioetanolu, se musí případní zájemci o užívání tohoto typu paliva zpravidla spokojit s příslušnou přestavbou.

## **1.2 Zkapalněný ropný plyn (*LPG*)**

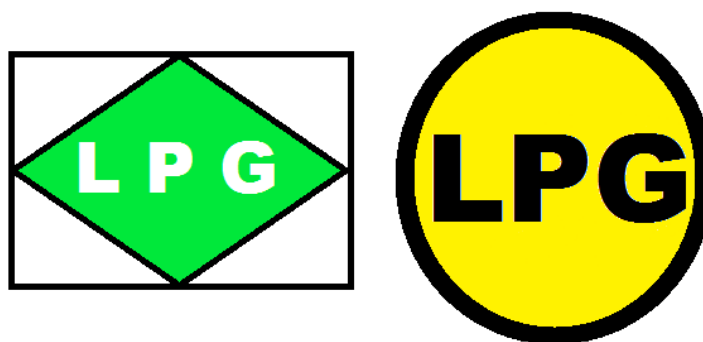
Historie *LPG* na našem území sahá do období II. sv. války. Poválečný nedostatek konvenčních paliv způsobil využívání *LPG* i pro pohon automobilů. V tomto období se tak dělo i přes bezpečnostní a technologické nedostatky. Po skončení II. sv. války došlo k prudkému rozmachu těžby ropy, což vedlo k útlumu používání *LPG* jako paliva pro pohon automobilů a v průběhu padesátých let došlo k zákazu tohoto způsobu užití *LPG*. K legalizaci provozu vozidel s pohonem na *LPG* u nás došlo až po roce 1989. V současné době je problematika přestaveb vozidel na *LPG* řešena zákonem č. 56/2001 Sb. "O podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích ...", který ruší zákon č. 38/1995 Sb. [12]

Palivo *LPG* je jednoznačně nejrozšířenějším alternativním palivem u nás. Cena *LPG* se dlouhodobě pohybuje hluboko pod cenami konvenčních paliv, což je hlavním pozitivem tohoto druhu paliva.

*LPG* je složeno ze 40 % propanu a 60 % butanu v letním období a v opačném poměru pro období zimní. Uvedený poměr se mění z toho důvodu, že butan je při nízkých teplotách kapalný a hůře se odpařuje. Oproti butanu může být propan použit jako palivo v čisté formě a navíc má i vyšší oktanové číslo. Propan je ovšem dražší než butan a má nižší výhřevnost. Cena a spotřeba *LPG* je v zimním období trochu vyšší. [6]

Automobil jezdící na *LPG* musí být ze zákona řádně označen. Pro kategorii *M1* a *N* je určena samolepka se žlutým pozadím a pro automobily kategorie *M2* a *M3* je určena samolepka se zeleným pozadím, viz Obr. 1. [13]

Palivo *LPG* se vyrábí jednak z ropy, ale v čím dál větší míře také ze zemního plynu. Existence tohoto paliva tak není v zásadě odkázána pouze na světové zásoby ropy. Pouze určitý objem produkce *LPG*, asi 40 %, pochází z ropy. Zbytek produkce, čili 60 %, se získává ze zemního plynu. Zpracovávat obě tyto suroviny jako směs je velmi výhodné a ropné rafinerie mají rostoucí zájem o nákup kondenzátu ze zemního plynu. S rostoucím zájmem o toto palivo se předpokládá zvýšení produkce *LPG* ze zemního plynu. Vzhledem k oblibě tohoto paliva roste i počet míst, kde je nabízeno a již dnes je poměrně velká koncentrace čerpacích stanic nabízejících *LPG* u nás i v zahraničí. [6]



Obr. 1: Barevné provedení samolepek pro označení automobilu spalujícího *LPG*

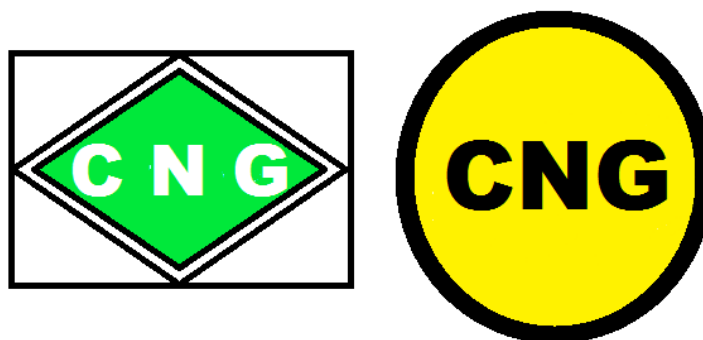
Kvalita *LPG* je dána normou ČSN EN 589 z února roku 2009. Minimální oktanové číslo *LPG* je dle normy 89 (*OČMM*). Automobilový benzín má oktanové číslo minimálně 85 (*OČMM*) dle normy ČSN EN 228. Oktanové číslo vyjadřuje odolnost paliva vůči samovznícení, jehož důsledkem je tzv. klepání motoru. [6]

### 1.3 Stlačený zemní plyn (CNG)

Hlavní složkou *CNG* je metan (podíl 96-98%). Zemní plyn je zcela nezávislý na ropě a jeho zásoby jsou odhadované na cca 200 let. Jedná se o bezbarvý, sám o sobě nezapáchající, hořlavý plyn. Jelikož je lehčí než vzduch, tak se při úniku rychle rozptýlí. Používá se ve dvou formách, buď jako stlačený zemní plyn nebo ve formě kapalného zemního plynu (*LNG*). Problém při používání kapalného zemního plynu pro pohon automobilů spočívá v komplikovanosti, resp. technologické náročnosti jeho užití. [6]

Zemní plyn jako pohonná hmota se u nás začal uplatňovat od roku 1981, kdy byla provedena první přestavba vozidla na zemní plyn [14]. Nevýhoda *CNG* spočívá ve velikosti tlakové nádoby v porovnání s *LPG* a naopak předností *CNG* je vysoké oktanové číslo. Pro maximální využití potenciálu tohoto paliva, je vzhledem k vysokému oktanovému číslu (cca 130), zapotřebí větších úprav motoru. Nevýhodou takové úpravy pohonu je, že již nebude možná jízda na benzín. Vzhledem k relativně krátké dojezdové vzdálenosti při užití paliva *CNG* není tato úprava, zejména v kombinaci s osobním automobilem, příliš častá. Z důvodu velkých objemů tlakových nádrží je žádoucí jejich vestavění do vozidla způsobem, který neomezuje využitelný zavazadlový prostor automobilu. Proto je vhodné v případě tohoto paliva koupit automobil rovnou uzpůsobený pro *CNG*. Při přestavbě osobních automobilů na tento typ alternativního pohonu se zpravidla umísťují tlakové nádoby do zavazadlového prostoru. V případě autobusů je lze umístit např. na střeše. [6]

Automobil jezdící na *CNG* musí být ze zákona řádně označen. Pro kategorii *M1* a *N* je určena samolepka se žlutým pozadím a pro automobily kategorie *M2* a *M3* je určena samolepka se zeleným pozadím, viz Obr. 2. [13]



Obr. 2: Barevné provedení samolepek pro označení automobilu spalujícího *CNG*



CNG je do budoucna velmi atraktivní palivo, jehož nástup je v současnosti brzděn zejména nízkou hustotou čerpacích stanic a vysokými pořizovacími náklady pro tento typu pohonu. Vzhledem k rostoucímu zájmu o toto palivo lze očekávat vzrůstající tendenci ve výstavbě nových veřejných čerpacích stanic. [15]

## **1.4 Elektromobil / Hybridní pohon**

První využitelný zdroj elektrické energie představuje tzv. „Voltův článek“ z roku 1800. První primitivní elektromotor pochází z roku 1821. [16] Na počátku 20. století byl pohon automobilu na elektrickou energii poměrně běžný.

Elektrický pohon má v současné době doajista velký potenciál. Ve 21. století jsme svědky odklonu od konvenčních paliv. Jelikož lze elektrickou energii získávat z obnovitelných zdrojů, je její využití pro pohon automobilů velmi lákavé.

Teoreticky lze dobít automobil ze solárních článků a být tak zcela nezávislý na elektrické síti. Problém nastává v případě potřeby elektrickou energii skladovat, což se odráží v nízkých dosažitelných dojezdových vzdálenostech elektromobilů, které se běžně pohybují kolem 100 km. Co se dojezdových vzdáleností týče, závisí zejména na instalované kapacitě baterií. Pokud uživatel automobilu urazí každý pracovní den 60 km, dosáhne ročního nájezdu cca 15 000 km a vystačí si s dojezdovou vzdáleností elektromobilu, která pak nemusí být nutně limitujícím faktorem. Pro jízdy na delší vzdálenost by byla nutnost neustálého dobíjení baterií velmi omezující. Řešení problému malých dojezdových vzdáleností nabízí tzv. elektromobil s prodlouženým dojezdem, který používá jako dodatečný zdroj elektrické energie spalovací motor. Horší podmínky pro provoz elektromobilů rovněž představuje zimní období, kdy použité baterie mohou být výrazně oslabeny nízkými teplotami. Nízké teploty v kombinaci se zapnutým elektrickým topením zapříčiní velmi výrazné zkrácení dojezdové vzdálenosti elektromobilu. [17], [18]

Určitý mezistupeň mezi konvenčními palivy a elektromobily představují hybridní automobily, které se na trhu vyskytují již delší dobu. Hybridní automobil je poháněn primárně spalovacím motorem, kterému v případě potřeby sekunduje elektromotor [19]. Výhoda těchto automobilů spočívá ve spojení osvědčeného konvenčního pohonu a elektromobilu, s výsledným velmi pozitivním dopadem na spotřebu paliva, a to zejména v městském provozu.

## 2 Analýza nákladů životního cyklu

Dle [1] představuje analýza nákladů životního cyklu ekonomickou analýzu sloužící k posouzení celkových nákladů na pořízení, vlastnictví a likvidaci produktu. Výstup analýzy *LCC*, aplikované na jednotlivé typy pohonu automobilů, bude sloužit jako podklad při výběru optimálního typu pohonu. Dalším cílem modelu *LCC* je určit ty nákladové položky, které reálně ovlivňují skutečné náklady životního cyklu. Důležité je rovněž zjištění i těch nákladových položek, jež mohou ovlivňovat náklady *LCC* v malém rozsahu.

Etapy životního cyklu produktu dle [1] jsou následující:

- etapa koncepce a stanovení požadavků;
- etapa návrhu a vývoje;
- etapa výroby;
- etapa instalace;
- etapa provozu a údržby;
- etapa vypořádání (likvidace).

Vzhledem ke konkrétní aplikaci *LCC* analýzy, se zaměřením na výhodnost investice do alternativního pohonu automobilu pro koncového uživatele, není zapotřebí uvažovat všechny výše uvedené etapy životního cyklu produktu. Předmětem zájmu budou následující etapy životního cyklu pohonu automobilu:

- etapa instalace;
- etapa provozu a údržby;
- etapa vypořádání (likvidace).

V souladu s [1] lze celkové náklady vynaložené během výše uvedených etap rozdělit na pořizovací náklady, vlastnické náklady a náklady na vypořádání, viz (1).

$$LCC = \text{Pořizovací náklady} + \text{Vlastnické náklady} + \text{Náklady na vypořádání} \quad (1)$$

Pořizovací náklady jsou snadno zjistitelné a mohou být snadno vyhodnoceny před rozhodnutím o pořízení nebo nepořízení daného automobilu. Pro účely porovnání nákladů životního cyklu automobilů s konvenčními a alternativními typy pohonu se jedná zejména o příplatek za možnost užívat alternativní typ paliva.

Náklady na vypořádání nebudou zahrnuty do modelu *LCC* z důvodu povahy analyzovaných objektů. Nelze objektivně posoudit náklady na vypořádání pro jednotlivé typy pohonu. Celkové náklady *LCC* budou tvořeny vlastnickými a pořizovacími náklady. Jaké z těchto dvou nákladů budou dominantní nelze před samotnou analýzou jednoznačně určit. Vlastnické náklady nejsou tak snadno zjištěitelné, resp. nelze je tak snadno předpovědět. [1]

Pokud by byl analyzován celý automobil, bylo by možné započítat náklady na vypořádání (likvidaci). Tyto náklady mohou být jak „pozitivní“, tak „negativní“. Vypořádáním je možné rozumět likvidaci vraku vozidla ve smyslu platných zákonů, např. o nakládání s nebezpečnými odpady, nebo negativní náklady na vypořádání, plynoucí z dalšího prodeje ojetého automobilu.

Součástí [1] je rovněž zhodnocení spolehlivosti. Spolehlivost je souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a faktorů, které ji ovlivňují: bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby. [20]

Výše zmíněné faktory mohou rovněž významně ovlivnit celkové náklady na provoz automobilu. V rámci této práce se předpokládá, že úprava automobilu na alternativní typ pohonu nemá vliv na jeho spolehlivost. Z tohoto důvodu se uvažuje pouze originální přestavba výrobcem automobilu nebo přestavba certifikovaným servisem proto, aby byla zajištěna optimální úroveň bezporuchovosti.

Náklady spojené s jednotlivými parametry spolehlivosti mohou (podle možností) zahrnovat:

- náklady na obnovu systému včetně nákladů na údržbu po poruše;
- náklady na preventivní údržbu;
- vyvolané náklady.

V rámci modelu nákladů životního cyklu automobilu s alternativním pohonem se bude nejvíce pozornosti věnovat nákladům na preventivní údržbu. Vyvolané náklady a náklady na obnovu systému včetně nákladů na údržbu po poruše nebudou v kalkulacích *LCC* obsaženy. Tyto nákladové položky lze totiž ve většině případů jen obtížně posoudit. [1]

Je třeba zdůraznit, že výsledky výpočtů nákladů životního cyklu nemusejí odpovídat skutečným, resp. pozorovaným nákladům, což je dáno existencí náhodných faktorů, mezi které patří např. lidské chyby. [1]

Náhodné faktory nelze ve výpočtech přesně modelovat, nicméně lze předpokládat, že tyto nezahrnuté náklady budou přibližně stejné u všech posuzovaných variant a nedojde tak k ovlivnění výsledků studie.

V souladu s [1] by měl model pro zajištění co nejvěrnějšího zachycení reality:

- 1) představovat znaky analyzovaného produktu včetně jeho zamýšleného prostředí použití, koncepce údržby, scénářů provozu a zajištěnosti údržby, jakož i jakýchkoliv omezení;
- 2) být natolik komplexní, aby obsahoval a zdůrazňoval všechny činitele, které se týkají *LCC*;
- 3) být dostatečně jednoduchý, aby byl snadno pochopitelný a bylo jej možné aktuálně používat při rozhodování a aby umožňoval budoucí aktualizaci a modifikaci;
- 4) být navržen tak, aby umožňoval vyhodnotit specifické položky *LCC* nezávisle na jiných položkách.

Pro odhad celkových nákladů životního cyklu je nezbytné rozčlenit celkové náklady *LCC* na nákladové položky, z nichž se skládá [1]. V tomto případě se jedná zejména o různé komponenty pohonného systému automobilu a jednotlivé servisní úkony.

Pro odhad nákladů byla zvolena metoda na základě analogie. Pro tuto metodu je typické, že se odhad nákladů provádí na základě zkušeností s obdobným pohonným systémem. Tato metoda využívá dostupné údaje o alternativních typech pohonu a měla by zohlednit zvyšování cen a technologický pokrok v dané oblasti.

Důležité je vypracovat model tak, že každá změna parametru u nákladové položky musí být automaticky reflektována, kdykoliv se tento parametr použije. Diplomantem navržený model splňuje tento požadavek.

Model, vytvořený v rámci této práce, nezapočítává do nákladů diskontní sazbu, tedy nezvažuje inflaci ani zdražení pohonných hmot, v průběhu modelovaného období. Autor vychází z předpokladu, že ceny energetických zdrojů budou mít rostoucí tendenci a zároveň nedojde v budoucnu k natolik radikální změně poměrů jejich cen, aby došlo

v průběhu uvažovaného životního cyklu pohonu automobilu ke změně jeho výhodnosti ve vztahu k ostatním typům pohonů. Jinými slovy znalost budoucích cen energetických zdrojů neovlivní rozhodování při výběru vhodného typu pohonu. Případná nesprávná predikce vývoje cen energetických zdrojů by mohla zkreslit výsledky modelu.

Analýza nákladů životního cyklu představuje odhad nákladů na pořízení a vlastnictví pohonného systému automobilu v celém jeho životním cyklu. Důvěra k výsledkům analýzy *LCC* závisí na dostupnosti a využití příslušných informací, na předpokladech učiněných v modelu *LCC* a na vstupních datech použitých v analýze. [1]

Součástí *LCC* analýzy je rovněž zohlednění nejistot a rizika. Rizika mohou v této analýze představovat např. zásahy do vozidla v případě jeho přestavby, riziko plynoucí z montáže nespolehlivých komponent nebo špatně odvedené práce, riziko horších zimních startů apod. Nejistoty mohou představovat např. náhlé změny cen paliv, nejistota dalšího politického vývoje týkajícího se využívání různých typů paliv nebo nečekaný technologický vývoj v daném odvětví. Tyto skutečnosti nelze kvantitativně vyjádřit v podobě nákladů/přínosů jednotlivých variant. Pro jejich zahrnutí do nákladů životního cyklu budou kvalitativně uvažovány. Lze říci, že kvantitativní výsledky poskytují základní posouzení o výhodnosti alternativních paliv, zatímco kvalitativní posouzení poskytuje doplňující informace pro další zhodnocení výhodnosti. [1]

V rámci *LCC* je rovněž potřeba posoudit možné odchylky pro jednotlivé nákladové položky. Nákladové položky, které výrazněji ovlivňují celkové náklady životního cyklu pohonu automobilu, se dají zjistit analýzou citlivosti.

## **2.1 Vstupní hodnoty do modelu *LCC***

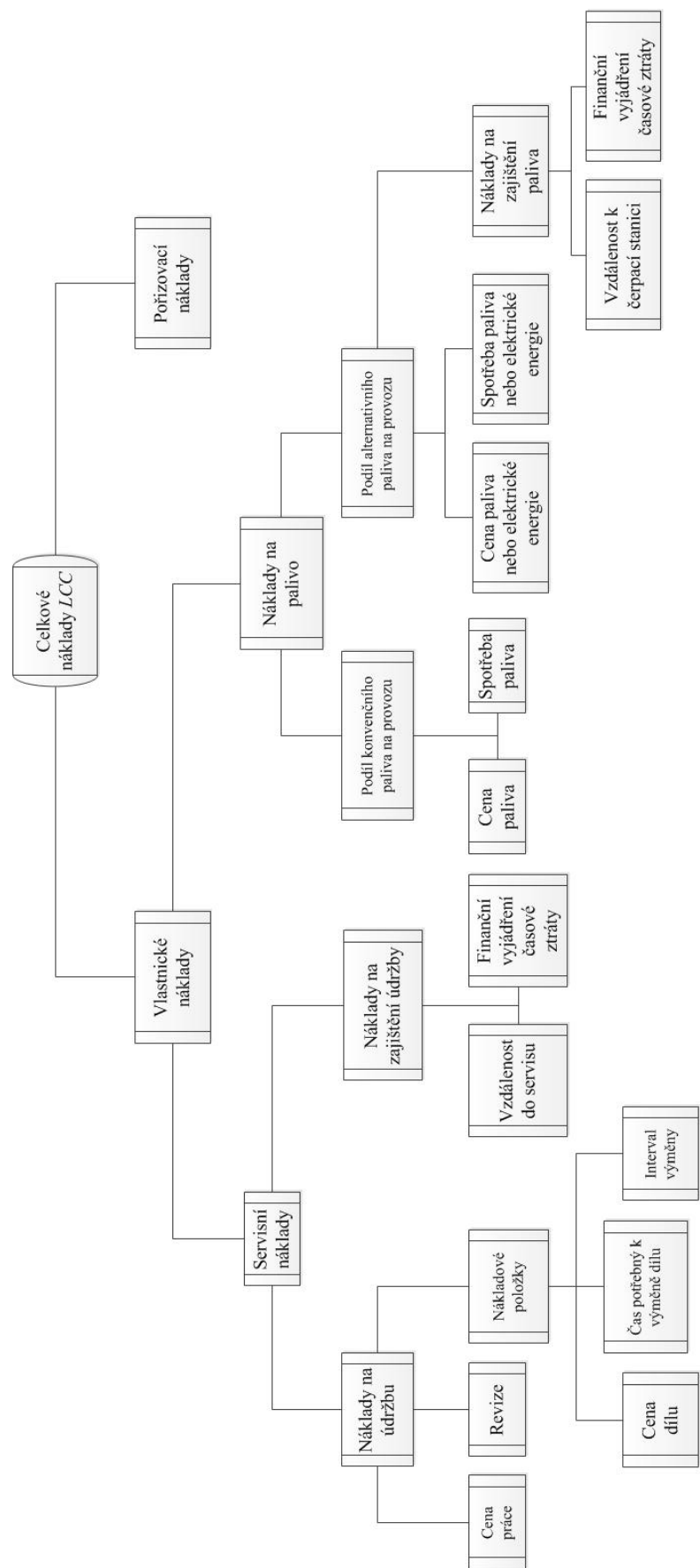
Tato kapitola se zabývá vstupy do modelu *LCC* a jejich popisem. Postup pro určení nákladů životního cyklu pro pohon automobilu je graficky zobrazen na Obr. 3.

Celkové náklady životního cyklu lze rozdělit do dvou hlavních nákladových skupin, kterými jsou vlastnické a pořizovací náklady na daný typ pohonu. Pořizovací náklady se již dále nedělí. Vlastnické náklady jsou poměrně obsáhlé. Lze je dělit na náklady spojené se spotřebou paliva a na náklady servisní.

Náklady na palivo jsou dány cenou a spotřebovaným množstvím alternativního anebo konvenčního typu paliva. Vícenáklady na zajištění paliva jsou uvažovány pouze

pro alternativní paliva. Autor práce předpokládá, že dostupnost konvenčních paliv není z hlediska jejich zajištění nijak omezující a jejich dostupnost je považována za ideální. V případě alternativních paliv lze očekávat náklady spojené s jejich zajištěním, z důvodu jejich horší dostupnosti.

Servisní náklady se skládají z nákladů na údržbu a z nákladů spojených se zajištěním údržby. Náklady na údržbu zahrnují cenu práce, náklady na pravidelné revize a soubor nákladových položek. Náklady na zajištění údržby tvoří náklady na palivo, které je spotřebováno pro uražení vzdálenosti do servisu a finanční vyjádření časové ztráty související s jeho návštěvou. Finanční vyjádření časové ztráty reflektuje fakt, že některé typy pohonu mají kratší servisní interval nebo jsou vyžadovány pravidelné revize, které jsou častější, než samotný servisní interval. Nákladové položky, související s preventivní údržbou pohonu, představují jednak díly pohonu určené k pravidelným výměnám, ale i ostatní nákladové položky jako například revize, *STK*, měření emisí, aditiva atp.



Obr. 3: Struktura nákladů

## 2.2 Výstupní hodnoty modelu *LCC*

Výstup modelu musí být snadno pochopitelný a dostatečně vypovídající. Mezi hlavní výstupní numerické hodnoty patří zejména náklady na ujetý kilometr, úspora nákladů oproti konvenčnímu typu pohonu za dobu technického života, kumulované náklady a návratnost investice do alternativního pohonu, udanou potřebným minimálním kilometrovým proběhem. Pro lepší názornost budou vybrané numerické hodnoty znázorněny graficky.

Náklady životního cyklu pohonu automobilu jsou dány následujícím vztahem

$$LCC = PN + VN, \quad (2)$$

kde  $PN$  vyjadřuje pořizovací náklady na daný typ pohonu a  $VN$  jeho vlastnické náklady.

Vlastnické náklady (3) jsou dány servisními náklady ( $SN$ ), podílem jízdy na alternativní palivo ( $PA$ ), počtem najetých kilometrů ( $PK$ ), spotřebou alternativního paliva ( $SA$ ), cenou alternativního paliva ( $CA$ ), spotřebou konvenčního paliva ( $SK$ ) a cenou konvenčního paliva ( $CK$ ). Poslední člen vyjadřuje finanční ohodnocení nákladů souvisejících se zajištěním paliva, kde  $NC$  je finanční vyjádření časové ztráty a  $PC$  vyjadřuje počet čerpání nebo dobíjení po dobu plánované technické životnosti pohonu.

Matematické vyjádření vztahu výše uvedených nákladových položek je uvedeno v následujícím vzorci:

$$VN = SN + \frac{PA [\%]}{100} * \frac{PK}{100} * SA * CA + \left(1 - \frac{PA [\%]}{100}\right) * \frac{PK}{100} * SK * CK + PC * NC \quad (3)$$

Následně je potřeba vypočítat servisní náklady ( $SN$ ) dle následujícího vzorce:

$$SN = \sum (CP * t_s + CD) * PV + CPNS * FOCZ, \quad (4)$$

kde  $CP$  vyjadřuje cenu práce [Kč/h],  $t_s$  je čas potřebný pro servisní úkon [h],  $CD$  reflektuje cenu dílu [Kč],  $PV$  je počet výskytů položky v rámci uvažované technické životnosti automobilu,  $CPNS$  odráží celkový počet návštěv v servisu po dobu plánované životnosti pohonu a  $FOCZ$  vyjadřuje finanční ohodnocení časové ztráty [Kč] způsobené zajištěním servisu daného typu pohonu.



Počet výměn dílu ( $PV$ ) je dán jeho životností. Životnost dílu je zpravidla dána parametry „kilometrový proběh“ a „časový interval výměny“. Je zapotřebí vyhodnotit, který z těchto dvou parametrů bude určovat interval výměny daného dílu, čili pro který z těchto parametrů bude dosaženo většího počtu výměn daného dílu v rámci plánované technické životnosti pohonu. Po určení celkového počtu výměn daného dílu se získaná hodnota dosadí do sumy ve vzorci (4) a stejným způsobem se postupuje pro všechny ostatní nákladové položky.

Celkový počet návštěv v servisu ( $CPNS$ ) se získá jako počet výměn u nejčetněji měněné nákladové položky a získaná hodnota se použije pro ohodnocení nákladů spojených s čtenějšími návštěvami servisu v případě některých alternativních typů pohonu.

Z důvodu podstatně menší hustoty čerpacích stanic nabízejících alternativní paliva je možné vyplnit položku týkající se pravidelné jízdy k čerpací stanici. Jízdkou je myšlena „nadbytečně“ uražená vzdálenost kvůli zajištění alternativního paliva. Alternativní typy pohonů mají zpravidla kratší dojezdovou vzdálenost, lze tedy předpokládat častější potřebu doplňování pohonné hmoty. Započítání nadbytečně uražených kilometrů povede k věrnějším výstupům modelu  $LCC$ . Ze stejného důvodu je možné započítat „nadbytečně“ uraženou vzdálenost do servisu. V modelu se tedy počítá s plánovaným počtem uražených kilometrů, tj. počtem kilometrů najetých za jinak stejných podmínek automobilem na konvenční pohon a se skutečně najetými kilometry v případě alternativního pohonu. Plánovaný počet uražených kilometrů je tedy odhad provozovatele vozidla o jeho kilometrovém proběhu, naproti tomu skutečně uražená vzdálenost v sobě zahrnuje „nadbytečně“ uražené kilometry spojené s provozem alternativního typu pohonu.

Vzorec (5) obsahuje proměnnou  $PK$  (počet najetých kilometrů) [km], do které je potřeba dosadit, buď plánovanou, nebo skutečně uraženou vzdálenost během plánované životnosti automobilu, v závislosti na typu pohonu (konvenční nebo alternativní) a vlastnické náklady ( $VN$ ) [Kč].

Výpočet nákladů na ujetý kilometr ( $NUK$ ) [Kč/km] se spočítá dle následujícího vzorce:

$$NUK = \frac{VN}{PK}, \quad (5)$$

kde  $VN$  [Kč] jsou vlastnické náklady a  $PK$  [km] je počet skutečně uražených kilometrů.

Návratnost investice ( $NI$ ) do alternativního pohonu udanou v minimálním potřebném kilometrovém proběhu se následně určí následujícím vztahem:

$$NI = \frac{PN_A - PN_K}{NUK_K - NUK_A}, \quad (6)$$

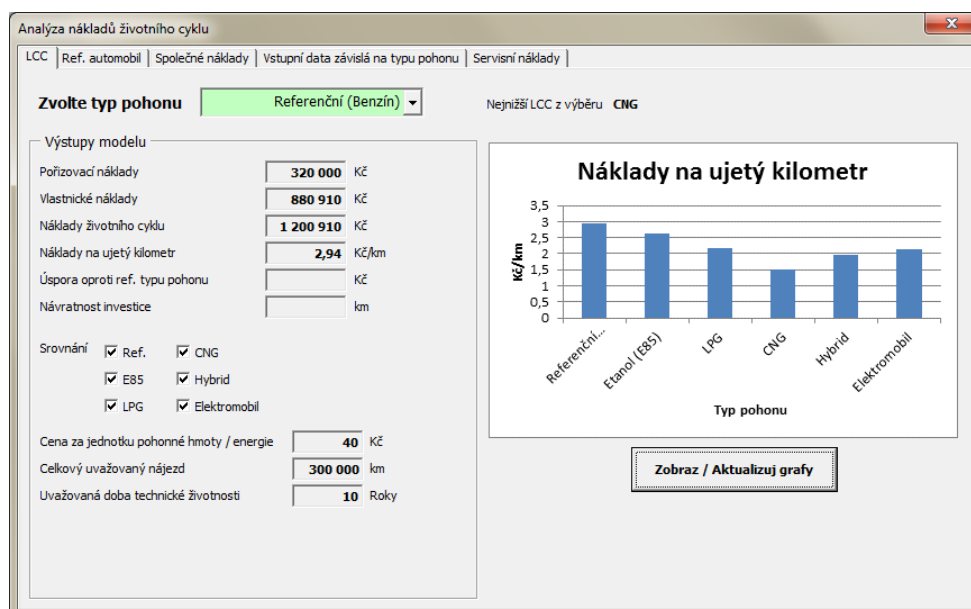
kde  $PN_A$  jsou náklady na pořízení automobilu s alternativním typem pohonu,  
 $PN_K$  představují náklady na pořízení automobilu s konvenčním typem pohonu,  
 $NUK_K$  vyjadřuje náklady na ujetý kilometr při užití konvenčního paliva a  
 $NUK_A$  vyjadřuje náklady na ujetý kilometr v případě jízdy na alternativní palivo.

### 3 Představení modelu nákladů životního cyklu

V kapitole 2 byl představen základní koncept modelu nákladů životního cyklu. Byly popsány vstupy a výstupy modelu *LCC*. V následujících podkapitolách bude představen samotný model. Pro tvorbu modelu bylo zvoleno vývojové prostředí aplikace *MS Excel VBA* (Visual Basic for Applications). Model byl vytvořen v souladu s normou [1] za použití zjednodušení a předpokladů uvedených v předchozí kapitole.

#### 3.1 Popis aplikace

Model je realizován v aplikaci Microsoft Excel, která zároveň nabízí vývojové prostředí vhodné pro tvorbu aplikací. Vytvořená aplikace slouží k zadávání vstupů a k získávání výstupů z modelu.



Obr. 4: Náklady *LCC*

Pro lepší přehlednost je aplikace členěna na následující záložky:

- LCC;
- Ref. automobil;
- Společné náklady;
- Vstupní data závislá na typu pohonu;
- Servisní náklady.

Záložka „LCC“ slouží pro zobrazení výstupů modelu a umožňuje zjednodušený náhled na základní vstupní data modelu. Poskytované informace na kartě „LCC“ se liší

dle typu pohonu. Uživatel, zvolením typu pohonu, získá přístup k výstupům modelu. Vzájemné srovnání nákladů jednotlivých typů pohonů umožňují zaškrtačací políčka, která slouží k výběru alternativních typů pohonů. Tlačítko „Zobraz / Aktualizuj grafy“ zobrazí náklady na ujetý kilometr jednotlivých srovnávaných automobilů a jejich kumulované náklady. V okamžiku kliknutí na výše zmíněné tlačítko model zobrazí, nad grafem nákladů na ujetý kilometr, i pohon s nejnižšími náklady životního cyklu. Pro potřeby vzájemného srovnání nákladů životního cyklu konvenčního a alternativního typu pohonu je potřeba porovnávat srovnatelné automobily, nejlépe lišící se pouze typem pohonu. Automobil s konvenčním typem pohonu je považován za referenční, tj. referenční automobil má benzínový nebo naftový motor.

Záložka „Ref. automobil“ slouží pro výběr referenčního typu pohonu a vyplnění požadovaných vstupních hodnot.

Na záložce „Společné náklady“ jsou uvedeny položky, které vstupují do modelu *LCC* a jsou společné pro jednotlivé pohony. Patří mezi ně např. ceny pohonných hmot, *STK*, emise a údaje spojené s vlastním provozem automobilu, jako např. očekávaný roční nájezd atp.

Záložka „Vstupní data závislá na typu pohonu“ se vztahuje pouze k alternativním typům pohonů. Jsou zde uvedeny položky, které souvisí s použitím zvoleného typu alternativního pohonu. Na této záložce je dále možné volit mezi pohonem uzpůsobeným pro alternativní palivo přímo od výrobce automobilu a případnou dodatečnou přestavbou konvenčního typu pohonu.

Poslední záložka „Servisní náklady“ umožňuje přidání, úpravy a odstranění nákladových položek podléhajících pravidelným výměnám, resp. servisním zásahům a jsou členěny v závislosti na typu pohonu.

Model je doplněn o plovoucí nápovědy v případě všech klíčových vstupů. Jednotlivé alternativní pohony mají svá specifika, z tohoto důvodu jsou analyzovány zvlášť. U alternativních paliv je počítáno s náklady na jejich pořízení, které mohou významně ovlivnit vlastnické náklady, zejména pokud je zapotřebí časté doplňování pohonných hmot z důvodu nízké dojezdové vzdálenosti automobilu. Pokud se navíc uvažují náklady časové ztráty, související s pořízením alternativního paliva, mohou být

ovlivněny náklady životního cyklu do takové míry, že ovlivní rozhodování při výběru typu pohonu. Detailnější popis modelu poskytují následující kapitoly.

### 3.2 Vstupy do modelu nákladů životního cyklu

V této kapitole budou popsány záložky obsahující vstupy do modelu *LCC*. Jako první bude popsána záložka „Společné náklady“, viz Obr. 5.

Ceny pohonných hmot	
Benzín (BA95)	40 Kč/l
Nafta	36 Kč/l
Etanol (E85)	29 Kč/l
Zkapalněný ropný plyn (LPG)	20 Kč/l
Stlačený zemní plyn (CNG)	25,9 Kč/kg
Elektrická energie	4,61 Kč/kWh

STK	
Benzín	650 Kč
Nafta	650 Kč
LPG	650 Kč
CNG	650 Kč
Elektromobil	650 Kč

Provoz automobilu	
Očekávaný roční nájezd	30 000 km
Očekávaná doba tech. životnosti	10 roky
Celkový nájezd	300 000 km
Standardní servisní interval	15 000 km
Cena práce	500 Kč/h

Emise	
Benzín, E85, Hybrid	550 Kč
Nafta	700 Kč
LPG	600 Kč
CNG	1 100 Kč

Obr. 5: Společné náklady

„Společné náklady“ slouží pro zadání těch vstupních hodnot do modelu, které je vhodné seskupit, pro přehlednost, do jedné záložky. Položky, kterým je potřeba věnovat větší pozornost, jsou vyznačeny zelenou barvou, jelikož se tyto položky podílejí na variabilních nákladech a jich význam s počtem ujetých kilometrů poroste. Položky, které tvoří fixní náklady, jsou označeny barvou žlutou. V případě *STK* a měření emisí je stanoven interval jejich vykonání na 2 roky a jsou započítány do servisních nákladů. Údaj „Standardní servisní interval“ slouží pouze pro rychlou volbu servisního intervalu u pravidelných servisních úkonů jako je výměna oleje a olejového filtru. Pokud by byly tyto položky změněny na záložce „Servisní náklady“, nebude tento údaj brán v potaz.

Jak již bylo zmíněno, vývoj cen pohonných hmot není v modelu uvažován. Dle [21] určuje cena ropy cenu ostatních energetických zdrojů a cena ropy má spíše rostoucí tendenci. Vzhledem k nízké nebo nulové spotřební dani pro alternativní paliva lze očekávat její postupné zvyšování. Trend v *EU* je ovšem snižování ekologické zátěže a tím i podpora alternativních, resp. ekologických paliv formou nižší spotřební daně.

Například dle [22] je v případě paliva *CNG* stabilizována spotřební daň, kdy v roce 2011 byla ve výši 0 Kč/m<sup>3</sup> a v roce 2020 dosáhne výše 2,8 Kč/m<sup>3</sup>.

### 3.2.1 Referenční typ pohonu

Vstupní parametry, týkající se referenčního typu pohonu, resp. referenčního automobilu, jsou umístěny na samostatné záložce, nazvané „Ref. automobil“, viz Obr. 6. Vstupní data pro alternativní typy pohonů jsou naproti tomu umístěny na záložce „Vstupní data závislá na typu pohonu“, viz Obr. 7.

Analýza nákladů životního cyklu

LCC | Ref. automobil | Společné náklady | Vstupní data závislá na typu pohonu | Servisní náklady

**Zvolte typ pohonu**

☒ Benzín

☐ Nafta

Pořizovací náklady

Referenční (Benzín) 320 000 Kč

Technické specifikace pohonu

Spotřeba paliva 7 l/100km

Obr. 6: Ref. automobil

Záložka „Ref. automobil“ slouží k volbě typu konvenčního pohonu. K dispozici je zde volba benzínového nebo dieslového pohonu. Pro zvolený typ konvenčního pohonu uživatel zadá pořizovací náklady a průměrnou spotřebu paliva. Model následně, pro zvolený referenční typ pohonu, přepočítá hodnoty výstupů, které slouží k vzájemnému srovnání s alternativními typy pohonů. Na záložce „LCC“ jsou po výběru referenčního typu pohonu zobrazeny nové hodnoty výstupů modelu. Mezi výstupy modelu v tomto případě patří náklady na ujetý kilometr, vlastnické náklady a náklady životního cyklu.

### 3.2.2 Alternativní typ pohonu

Z pohledu vstupních dat je velmi důležitá záložka „Vstupní data závislá na typu pohonu“, viz Obr. 7. Na této záložce se zadávají data týkající se výlučně alternativních pohonů. Výčet položek závisí na zvoleném typu pohonu.

Uživatel může volit z následujících typů pohonů:

- Etanol (E85);
- LPG;
- CNG;
- Hybrid;
- Elektromobil.

Obr. 7: Vstupní data závislá na typu pohonu

Pouze hybridní pohon obsahuje na této záložce zcela identické vstupní parametry jako referenční typ pohonu, jinak je oproti referenčnímu typu pohonu v sekci nazvané jako „Technické specifikace automobilu“ navíc položka „Spotřeba alternativního paliva“, resp. „Spotřeba elektrické energie“, která udává průměrnou spotřebu paliva, resp. elektrické energie u alternativního typu pohonu.

V případě elektromobilu mohou nastat dvě možnosti, buď se jedná o elektromobil získávající energii pouze z vestavěných baterií, nebo o elektromobil s tzv. prodlouženým dojezdem, kdy je ve vozidle navíc přítomen benzinový spalovací motor ve funkci generátoru elektrické energie. Z tohoto důvodu je při výběru elektromobilu umožněno zadat, kromě spotřeby elektrické energie, také spotřebu paliva. Pokud je spotřeba paliva nenulová znamená to, že se jedná o elektromobil s prodlouženým dojezdem a uživateli je následně umožněno zadat podíl jízdy na alternativní pohon, v tomto smyslu tedy podíl jízdy na vestavěné baterie.

Pro zohlednění určitých specifík alternativních pohonů slouží sekce „Položky ovlivňující vlastnické náklady“, viz Obr. 7.

Následuje popis těchto položek:

- Vzdálenost k čerpací stanici (tam i zpět);
- Podíl jízdy na alternativní pohon;
- Využitelná kapacita nádrže, resp. Využitelná kapacita baterií;
- Spotřeba benzínu – studený start;
- Počet studených startů;
- Vzdálenost (tam i zpět) do servisu;
- Vícenáklady – návštěva servisu.
- Vícenáklady (čerpání/dobíjení);
- Účinnost nabíjení;
- Podíl benzínu na provozu.

„**Vzdálenost k čerpací stanici (tam i zpět)**“ vyjadřuje počet ujetých kilometrů souvisejících se zajištěním paliva a je určena pouze pro pohony na palivo *E85*, *LPG* a *CNG*. S touto položkou přímo souvisí položka „Využitelná kapacita nádrže“. Model na základě uvedené spotřeby alternativního paliva spočítá četnost čerpání. Tento údaj je následně použit pro výpočet skutečného kilometrového proběhu automobilu. Pokud je „Vzdálenost k čerpací stanici (tam i zpět)“ nenulová hodnota, model vypočte skutečný kilometrový proběh za dobu technické životnosti pohonu. Vlastnické náklady jsou počítány na základě skutečného kilometrového proběhu, a tak se tento údaj promítne do nákladů životního cyklu.

„**Podíl jízdy na alternativní pohon**“ je položka, jejíž hodnota může mít výrazný vliv na náklady životního cyklu. Udává v procentech, kolik kilometrů je ve skutečnosti ujetu na alternativní palivo a vztahuje se pouze k pohonům na palivo *E85*, *LPG*, *CNG* a k elektromobilu s prodlouženým dojezdem. V případě automobilů upravených pro spalování alternativního paliva je totiž důležité zmínit, že zpravidla vždy startují na benzín nebo dokonce ujedou vždy určitou část celkového nájezdu na benzín. Z toho plyne, že nelze v principu u těchto automobilů uvažovat výhradní provoz na alternativní palivo. Spotřeba benzínu u přestavěných automobilů zpravidla závisí na venkovní teplotě, při teplotách hluboko pod bodem mrazu se spotřeba benzínu zvyšuje. Počet dnů, kdy teplota poklesne pod  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , je v ČR dle [23] přibližně 12, pramen [24] uvádí



dokonce 14 dnů v roce. V rámci této práce je uvažováno 5 % dnů v roce s takto nízkou dosaženou teplotou, což představuje přibližně 18 dní. Například při takto nízkých teplotách nemusí vůbec dojít k přepnutí z benzínu na *LPG*. Automobily typu *FFV* mohou mít problém za takto nízkých teplot nastartovat, pokud mají v nádrži velký podíl paliva *E85*, a proto se v těchto podmínkách doporučuje vyšší podíl benzínu v nádrži, což se projeví na nižším podílu jízdy na palivo *E85*.

„**Využitelná kapacita nádrže**“ je položka, která společně s udanou spotřebou alternativního paliva stanovuje četnost tankování za rok pro skutečný roční kilometrový proběh na záložce „Společné náklady“. Udaná hodnota je používána jednak při výpočtu skutečného kilometrového proběhu pro zvolený typ pohonu, ale i pro výpočet vícenákladů spojených s čerpáním paliva. Položka „Využitelná kapacita nádrže“ je určena pro pohony na palivo *E85*, *LPG* a *CNG*. „**Využitelná kapacita baterií**“ představuje významově shodný parametr s položkou „Využitelná kapacita nádrže“, ale s tím rozdílem, že je určena pro elektromobil.

V případě pohonu na *LPG* nebo *CNG* se standardně pro startování motoru používá benzín. Spotřebované množství benzínu navíc závisí na teplotě chladicí kapaliny, a tak jsou v modelu uvedeny následující položky:

- Spotřeba benzínu – studený start;
- Počet studených startů.

Položka „**Spotřeba benzínu – studený start**“ (týká se pouze motorů spalujících *LPG* a *CNG*) vyjadřuje množství spotřebovaného benzínu u studeného motoru, které je spotřebováno na ohřátí chladicí kapaliny, což je nutné pro přechod na alternativní pohon. V případě pohonu na *CNG* sice zpravidla dochází ke startování na benzín, ale dochází okamžitě k přepnutí na palivo *CNG*, s výjimkou studených startů při teplotách pod bodem mrazu. Položka „**Počet studených startů**“ souvisí s již zmiňovaným ohřátím chladicí kapaliny a je to počet případů, kdy je nutné spotřebovat určitý objem benzínu pro umožnění přechodu na alternativní pohon. Společně ovlivňují tyto položky podíl jízdy alternativního pohonu na kilometrovém proběhu automobilu. Další informace o těchto dvou položkách lze nalézt v kapitolách 4.2 a 4.3.

„**Vzdálenost (tam i zpět) do servisu**“ vyjadřuje skutečnost, že např. pohon *LPG* vyžaduje pravidelné servisní zásahy, které jsou častější, než v případě konvenčního pohonu a může být navíc vyžadován specializovaný servis. Z tohoto důvodu je

v modelu tato položka obsažena, a pokud je její hodnota nenulová, navyšuje se předpokládaný kilometrový proběh automobilu o kilometry ujeté z důvodu zajištění servisu. Počet návštěv servisu je stanoven na základě nejkratšího servisního intervalu uvedeného v jednotlivých servisních položkách k příslušnému typu pohonu. Vzdálenost do servisu není uvažována pro hybridní pohon a pro elektromobil, protože nevyžadují, vzhledem k referenčnímu typu pohonu, žádné vícenáklady na pravidelnou údržbu.

„*Vícenáklady – návštěva servisu*“ představují náklady časové ztráty spojené se zajištěním pravidelného servisu. Pokud je zadaná hodnota nenulová, promítne se do vlastnických nákladů.

„*Vícenáklady (čerpání/dobíjení)*“ představují náklady časové ztráty spojené se zajištěním paliva, resp. dobíjením elektromobilu. Pokud je zadaná hodnota nenulová, promítne se do vlastnických nákladů.

„*Účinnost nabíjení*“ je parametr, který zohledňuje ztráty při procesu nabíjení vestavěných baterií u elektromobilu.

„*Podíl benzínu na provozu*“ se váže pouze k motoru s přímým vstřikováním benzínu, přestavěného ke spalování paliva *LPG*. Je to dáno skutečností, že v tomto konkrétním případě nelze spalovat v motoru pouze *LPG*, a to z důvodu ochrany benzínové části, a proto se vždy na chodu motoru podílí benzín.

Standardně jsou u alternativních typů pohonu zpřístupněny položky týkající se nákladů souvisejících se zajištěním alternativního paliva. Výjimku tvoří hybridní pohon a do jisté míry i pohon na elektrickou energii. V případě hybridního pohonu je energie získávána z konvenčního paliva a v případě elektromobilu autor práce předpokládá, že elektromobil bude dobíjen výhradně v místě odjezdu a v jeho cíli, popř. při cestě. Z tohoto důvodu není aktivní údaj o vzdálenosti k čerpací stanici. Jinými slovy se nepředpokládá, že by bylo nutné podnikat nadbytečnou jízdu za účelem dobíjení elektromobilu.

Pro automobil, dodatečně přestavěný na alternativní pohon, se po zaškrtnutí volby „Přestavba“ započítají vícenáklady, které se zadávají na záložce „Servisní náklady“. V případě přestavby pohonu na palivo *LPG* se navíc zpřístupní možnost zaškrtnutí „Motor s přímým vstřikováním“. Pokud je zaškrtnuta možnost „Motor s přímým vstřikováním“, bude aktivní i položka „Podíl benzínu na provozu“.

### 3.2.3 Servisní náklady

Poslední záložka je věnována servisním nákladům, viz Obr. 8. Přístup k nákladovým položkám, souvisejících s preventivní údržbou, je zajištěn výběrem mezi možnostmi „Standardní“ a „Přestavba“. Volba „Standardní“ umožní výběr všech typů pohonů a volba „Přestavba“ umožní výběr přestavitelných typů pohonů. Po výběru typu pohonu jsou zobrazeny jednotlivé nákladové položky související s preventivní údržbou.

The screenshot shows the 'Analýza nákladů životního cyklu' application window. The 'Servisní náklady' tab is active. At the top, there are tabs for 'LCC', 'Ref. automobil', 'Společné náklady', 'Vstupní data závislá na typu pohonu', and 'Servisní náklady'. Below these, there are radio buttons for 'Druh servisních nákladů' (Standardní, Přestavba) and a dropdown for fuel type (Benzín, Nafta, Etanol (E85)).

	Položky	Cena [Kč]	Interval výměny [km]	Interval výměny [roky]	Čas na výměnu [h]
<input checked="" type="radio"/>	Vzduchový filtr	500	45 000	3	0,25
<input type="radio"/>	Olejový filtr	190	15 000		0,15
<input type="radio"/>	Palivový filtr	500	90 000		0,50
<input type="radio"/>	Zapalovací svíčky	800	60 000		0,25
<input type="radio"/>	Motorový olej	1 000	15 000	1	0,25

Below the table are three buttons: 'Přidat' (green), 'Upravit' (yellow), and 'Odebrat' (red).

Přehled servisních nákladů dle typu pohonu

Benzín	4 091 Kč/rok
Nafta	5 511 Kč/rok
Etanol (E85)	5 481 Kč/rok
LPG	8 299 Kč/rok
CNG	5 961 Kč/rok
Hybrid	12 191 Kč/rok
Elektromobil	45 760 Kč/rok

Dodatečné náklady při přestavbě

Etanol (E85)	1 542 Kč/rok
LPG	1 686 Kč/rok
CNG	1 639 Kč/rok

Obr. 8: Servisní náklady

Servisní náklady jsou kalkulovány pro každý typ pohonu zvlášť a lze je snadno rozšířit o další nákladové položky, přičemž model obsahuje základní nákladové položky pro potřeby vzájemného srovnání výhodnosti jednotlivých typů pohonů. Automobily po přestavbě mají některé dodatečné náklady plynoucí z faktu, že nebyly určeny pro provoz na příslušný typ alternativního paliva. Mezi tyto dodatečné náklady patří např. užití aditiv.

Uživatel nejprve zvolí požadované servisní náklady. Možností volby jsou buď „Standardní“, nebo „Přestavba“. Následně je uživateli umožněn výběr z jednotlivých typů pohonů. Po výběru typu pohonu jsou zobrazeny odpovídající servisní položky a zároveň se zobrazí tlačítka „Přidat“, „Upravit“ a „Odebrat“. Kliknutí na tlačítko „Přidat“ zobrazí stejný formulář jako při kliknutí na tlačítko „Upravit“, a proto bude popsáno pouze přidání položky.

Přehled servisních nákladů dle typu pohonu zobrazuje souhrnné náklady pro jednotlivé typy pohonů a dodatečné náklady při přestavbě zobrazují vícenáklady pro přestavované typy pohonů. Hodnoty nezahrnují vícenáklady spojené se zajištěním pravidelné údržby.

V případě standardních servisních nákladů se po kliknutí na tlačítko „Přidat“ zobrazí formulář, viz Obr. 9. Povinné údaje jsou podbarveny zelenou barvou, nepovinné žlutou. V případě servisních intervalů stačí, aby byl vyplněn alespoň jeden údaj.

The screenshot shows a dialog box titled "Přidej položku" with a close button (X) in the top right corner. It contains a table with the following columns: "Název položky", "Cena [Kč]", "Interval výměny [km]", "Interval výměny [rok]", and "Čas na výměnu [h]". The first row contains the data: "Kabinový filtr", 600, 15000, 1, and 0,25. The cells for "Cena", "Interval výměny [km]", and "Interval výměny [rok]" are highlighted in green, while the cells for "Čas na výměnu [h]" and "Název položky" are highlighted in yellow. Below the table are two buttons: "OK" (green) and "Zrušit" (red).

Název položky	Cena [Kč]	Interval výměny [km]	Interval výměny [rok]	Čas na výměnu [h]
Kabinový filtr	600	15000	1	0,25

OK Zrušit

Obr. 9: Přidej položku

Servisní vícenáklady související s přestavbou konvenčního pohonu a jeho následném provozu na alternativní palivo obsahují dva povinné údaje, a to název položky a roční náklady, viz Obr. 10. Pro přidání vícenákladu je nutné tyto údaje, které jsou podbarvené zelenou barvou, vyplnit. Žluté podbarvení představuje nepovinný údaj. Vícenáklady jsou brány jako položky, které nemají jednotné údaje. Údaj „Roční náklady“ je nutné k jednotlivým vícenákladovým položkám vyplnit dle vlastního uvážení.

The screenshot shows a dialog box titled "Přidej položku" with a close button (X) in the top right corner. It contains a table with the following columns: "Název položky", "Cena [Kč]", "Poznámka", and "Roční náklady [Kč]". The first row contains the data: "Aditivum", 1000, 1 litr, and 2500. The cells for "Cena", "Poznámka", and "Roční náklady" are highlighted in green, while the cell for "Název položky" is highlighted in yellow. Below the table are two buttons: "OK" (green) and "Zrušit" (red).

Název položky	Cena [Kč]	Poznámka	Roční náklady [Kč]
Aditivum	1000	1 litr	2500

OK Zrušit

Obr. 10: Přidej položku - vícenáklad

### 3.3 Výstupy z modelu nákladů životního cyklu

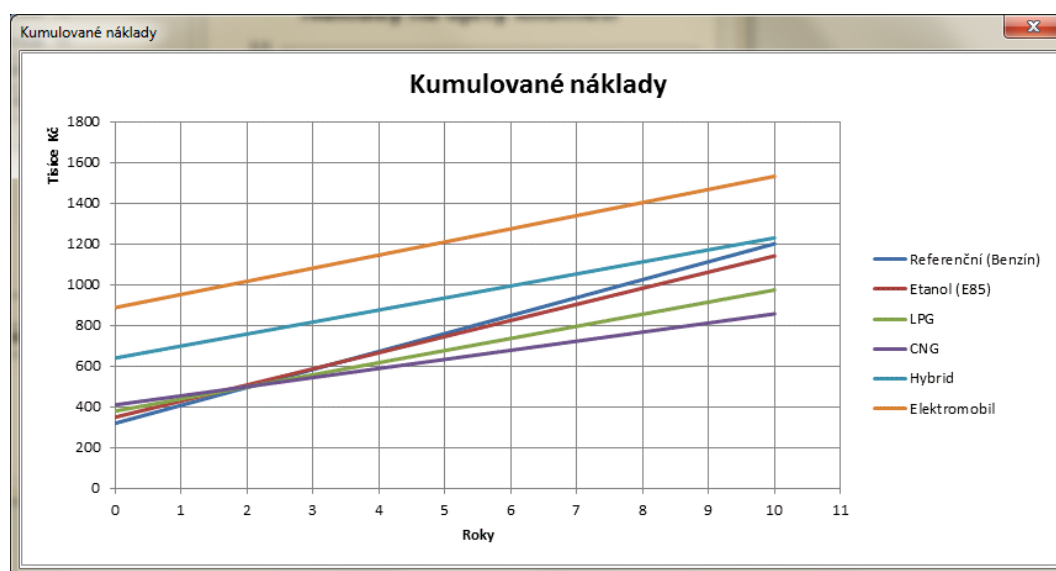
V kapitole 3.1 již byla částečně představena záložka s názvem „LCC“ a v této kapitole bude detailněji popsána. Uživatel má možnost výběru typu pohonu ze seznamu. Pro aktuálně zvolený typ pohonu se zobrazí základní informace o vstupních hodnotách a zároveň má uživatel k dispozici výstupní hodnoty numerickou formou.

Mezi důležité výstupní hodnoty modelu patří:

- Náklady životního cyklu;
- Náklady na ujetý kilometr;
- Úspora oproti ref. typu pohonu;
- Návratnost investice.

„Náklady životního cyklu“ představují náklady vynaložené na pořízení a provoz zvoleného typu pohonu. „Úspora oproti ref. typu pohonu“ je úspora na nákladech životního cyklu vybraného alternativního pohonu oproti vybranému referenčnímu pohonu. „Návratnost investice“ je minimální požadovaný kilometrový proběh, kdy se začne realizovat úspora na nákladech životního cyklu.

Pro zobrazení grafického výstupu modelu slouží tlačítko „Zobraz / Aktualizuj grafy“. Uživatel vybere porovnávané typy pohonů a kliknutím na výše zmíněné tlačítko otevře nové okno aplikace, zobrazující vývoj kumulovaných nákladů po letech provozování, viz Obr. 11. Zároveň se na hlavním okně aplikace zobrazí graf nákladů na ujetý kilometr pro porovnávané varianty pohonů a nad grafem se rovněž zobrazí typ pohonu s nejnižšími náklady životního cyklu, viz Obr. 4.



Obr. 11: Kumulované náklady

Z grafu kumulovaných nákladů na Obr. 11 vyplývá, že nejnižších nákladů životního cyklu dosahuje pohon na CNG. Přibližně po 2 letech provozu dojde ke kumulovaným úsporám ve výši rozdílu pořizovacích nákladů na pohon CNG a pořizovacích nákladů na referenční pohon.

## 4 *LCC* analýza nových automobilů

Cílem této kapitoly je provést *LCC* analýzu pro nové automobily s instalovaným alternativním typem pohonu. Důležitým faktorem při rozhodování o investici do alternativního pohonu je nepochybně jeho pořizovací cena. V současné době lze říci, že čím perspektivnější palivo automobil pohání, tím je i jeho pořizovací cena vyšší. Návrh investice závisí na mnoha faktorech. Model je vytvořen tak, aby zahrnoval jak běžné provozní náklady, tak i některé méně „viditelné“, jako například započítání nákladů na zajištění paliva. To vše s cílem zajistit co nejvěrnější predikci celkových nákladů.

Výrobci automobilů jsou tlačeni ke snižování emisí. Děje se tak formou zdokonalování konvenčních systémů, nicméně je pro výrobce automobilů stále obtížnější plnit emisní limity pouze touto cestou. Ke slovu se tak dostávají alternativní systémy pohonu využívající ekologicky šetrnější paliva. Vzhledem k podpoře alternativních paliv skrze daňová zvýhodnění jsou cenově atraktivní. Otázkou zůstává, jestli lze prostřednictvím těchto paliv realizovat úsporu nákladů na provoz automobilu v celém jeho životním cyklu. V současné době je možné na našem trhu zakoupit automobily užívající alternativní pohony od většiny předních výrobců.

Vzhledem k rostoucí ceně konvenčních paliv zájem o alternativní zdroje energie pro automobily vzrůstá. Nabídka automobilů na alternativní pohon není ovšem příliš bohatá. V mnoha případech je výběr automobilu na alternativní pohon doprovázen řadou kompromisů. Výrobci automobilů zpravidla nabízejí konkrétní modelovou řadu s konkrétní motorizací, jenž je upravená pro spalování určitého typu alternativního paliva. Například oblíbený model tuzemské automobilky Škoda Octavia v motorizaci 1.6 *MPI* je nabízen s možností jízdy na palivo *LPG* (Bi-fuel), nebo na palivo *E85* (MultiFuel). Druhou nejprodávanější značkou automobilů na našem trhu je Ford, který nabízí vybrané modelové řady v provedení *FFV* uzpůsobené pro spalování etanolu.

Rovněž lze na našem trhu zakoupit automobily upravené pro spalování *CNG*. Toto palivo je ekologické a tudíž pro výrobce automobilů atraktivní. Nelze se proto divit, že nové modely automobilů, jako např. Škoda Citigo, budou k zakoupení i v úpravě pro tento typ paliva. Některé automobilky, jako např. Fiat, Citroën a další, nabízí již dnes vybrané modely na zemní plyn [25].

Na hybridní technologii je založen automobil Toyota Prius, nejprodávanější automobil s tímto typem pohonu [26]. V případě elektromobilů je k zakoupení automobil Citroën C-Zero, uvedený na náš trh v roce 2011. Tento elektromobil je vhodný zejména pro městský provoz [27].

Automobily jezdící na alternativní typ pohonu jsou nabízeny ve všech obchodních třídách automobilů. Již dnes se ve velkých městech nacházejí plnicí stanice na *CNG* a dobíjecí stanice pro elektromobily. Zejména ve velkých městech je požadavek na nízké emise nejviditelnější. Autobusy městské hromadné dopravy v mnoha městech ČR pohání stlačený zemní plyn. Motivací pro výběr autobusů s pohonem na zemní plyn je zejména jejich nižší produkce emisí a hladiny hluku, což může mít pozitivní vliv na zlepšení kvality života v některých městech.

## **4.1 Automobily spalující biopaliva**

S novými automobily spalujícími biopaliva se lze setkat zejména u dvou u nás nejprodávanějších značek osobních automobilů, kterými jsou Škoda a Ford. Pro potřeby analýzy *LCC* byly zvoleny autorem práce modely Škoda Octavia a Ford Mondeo.

Za automobil Škoda Octavia s motorem MultiFuel si zájemce musí připlatit přibližně 5 000 Kč, oproti verzi s konvenčním pohonem [28]. Výrobce udává přibližnou kombinovanou spotřebu 9,5 l/100km pro palivo *E85* a 7,1 l/100km v případě benzínu. Nárůst spotřeby při jízdě na palivo *E85* je tedy cca 33 %. Servisní interval je pro verzi MultiFuel při jízdě na palivo *E85* stejný, jako v případě konvenční benzínové verze, tj. 15 000 km nebo 1 rok. Vzhledem k nízké aditivaci paliva *E85* doporučuje výrobce před výměnou oleje spotřebovat jednu nádrž s automobilovým benzínem. V zimním období je doporučeno při teplotách pod -10 °C předeheřtí motoru před jeho startováním. Elektrický předeheř je důležitý zejména při teplotách pod -15 °C, kdy se již nemusí podařit bez předeheřu motor nastartovat. Pokud není za takto nízkých teplot možný předeheř motoru, je vhodné udržovat co nejvyšší podíl benzínu v palivové nádrži. [29]

V případě automobilů značky Ford je příplatek za modely nabízené v provedení *FFV* přibližně 15 000 Kč. Při užívání paliva *E85* je shodně udáván servisní interval 10 000 km nebo 1 rok a pro jízdu na benzín činí servisní interval 20 000 km nebo 1 rok. Při teplotách pod -10 °C je rovněž doporučen předeheř nebo zvýšení podílu benzínu v nádrži. Pro konvenční verzi automobilu Ford Mondeo je udáváná spotřeba benzínu ve

výši 7,9 l/100km a pro verzi *FFV* je nepatrně vyšší, a sice 8,0 l/100km. Výrobce dále udává, že spotřeba při jízdě na palivo *E85* může být vyšší než při jízdě na benzín. [30]

V testu [30] byla naměřena automobilu Ford Mondeo ve verzi *FFV*, při jízdě na etanol, spotřeba vyšší o cca 10 %. Uvažovaná spotřeba při jízdě na toto palivo bude tedy 8,8 l/100km.

Následuje ukázka výpočtu nákladů na ujetý kilometr pro automobil Ford Mondeo *FFV*. Základní vstupní hodnoty do modelu viz Tab. 1 a Tab. 2.

Pro výpočet servisních nákladů je zapotřebí zjistit četnost výměn jednotlivých dílů. Plánovaná životnost automobilu je 10 let a během této životnosti je očekávaný kilometrový proběh 300 000 km, viz Tab. 2. Např. položka „Vzduchový filtr“ bude měněna v závislosti na ujetých kilometrech. Při intervalu výměny 45 000 km a kilometrovém proběhu 300 000 km bude počet výměn za plánovanou dobu technické životnosti automobilu právě 6, viz Tab. 1. Stejným způsobem bychom postupovali i u ostatních nákladových položek.

Následně se dle vzorce (4) vypočítají servisní náklady (*SN*) při ceně práce stanovené autorem ve výši 500 Kč/h.

$$SN = \sum (CP * t_s + CD) * PV + CPNS * FOCZ$$

$$= \sum ((500 * 0,25 + 500) * 6 + \dots) + 29 * 0 = \mathbf{54\,810\,Kč}$$

V dalším kroku se určí vlastnické náklady (*VN*) pomocí vzorce (3).

$$VN = SN + \frac{PA [\%]}{100} * \frac{PK}{100} * SA * CA + \left(1 - \frac{PA[\%]}{100}\right) * \frac{PK}{100} * SK * CK$$

$$= 54\,810 + \frac{100 [\%]}{100} * \frac{300\,000}{100} * 8,8 * 26 + \left(1 - \frac{100[\%]}{100}\right) * \frac{300\,000}{100} * 8,0 * 35$$

$$= \mathbf{741\,210\,Kč}$$

Náklady na ujetý kilometr (*NUK*) se spočtou dosazením do vzorce (5).

$$NUK = \frac{VN}{PK_{plánovaných}} = \frac{741\,210}{300\,000} = \mathbf{2,47\,Kč/km}$$

Náklady na ujetý kilometr jsou vyneseny následně do grafu, viz Obr. 12.



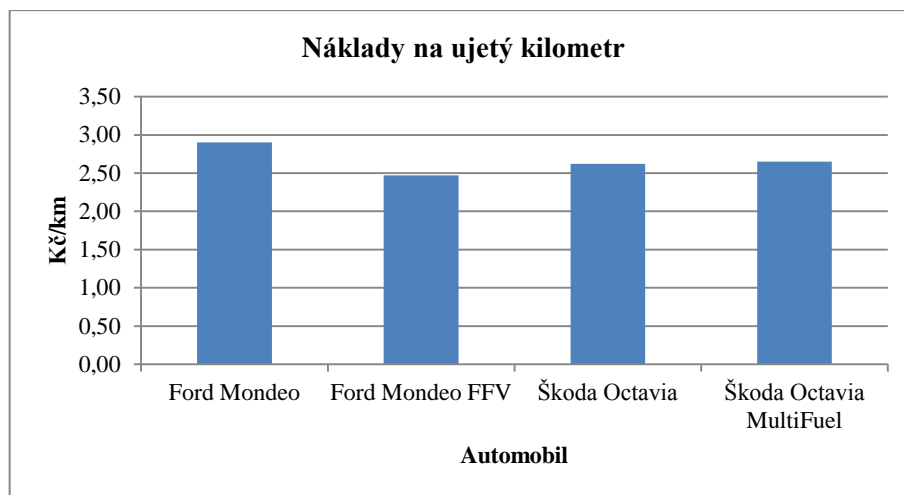
Tab. 1: Soubor nákladových položek pro pohon na palivo *E85*

Položky	Cena [Kč]	Interval výměny [km]	Interval výměny [roky]	Počet výměn	Čas na výměnu v hodinách	Dílčí náklady [Kč]
Vzduchový filtr	500	45 000	3	6	0,25	3 750
Olejový filtr	190	10 000		29	0,15	7 685
Palivový filtr	500	90 000		3	0,5	2 250
Zapalovací svíčky	800	60 000		4	0,25	3 700
Motorový olej	1000	10 000	1	29	0,25	32 625
STK	650		2	4		2 600
Emise	550		2	4		2 200

Z důvodu porovnávání dvou referenčních automobilů, resp. automobilů s konvenčním pohonem a současně dvou automobilů s pohonem na palivo *E85* bylo nutné omezení výše uvedených servisních intervalů pro automobily Ford Mondeo a Škoda Octavia MultiFuel, jelikož se v modelu uvažují jedny servisní náklady pro každý typ pohonu, viz Tab. 2.

Tab. 2: Vstupní hodnoty do *LCC* analýzy pro pohon na palivo *E85*

Automobil	PN [Kč]	PK (plánovaných)	T [roků]	SK [l/100km]	SA [l/100km]	CK [Kč/l]	CA [Kč/l]	Servisní interval [km]
Ford Mondeo	552 000	300 000	10	7,9	0,0	35,0	26,0	15 000
Ford Mondeo FFV	567 000	300 000	10	8,0	8,8	35,0	26,0	10 000
Škoda Octavia	373 900	300 000	10	7,1	0,0	35,0	26,0	15 000
Škoda Octavia MultiFuel	378 900	300 000	10	7,1	9,5	35,0	26,0	10 000



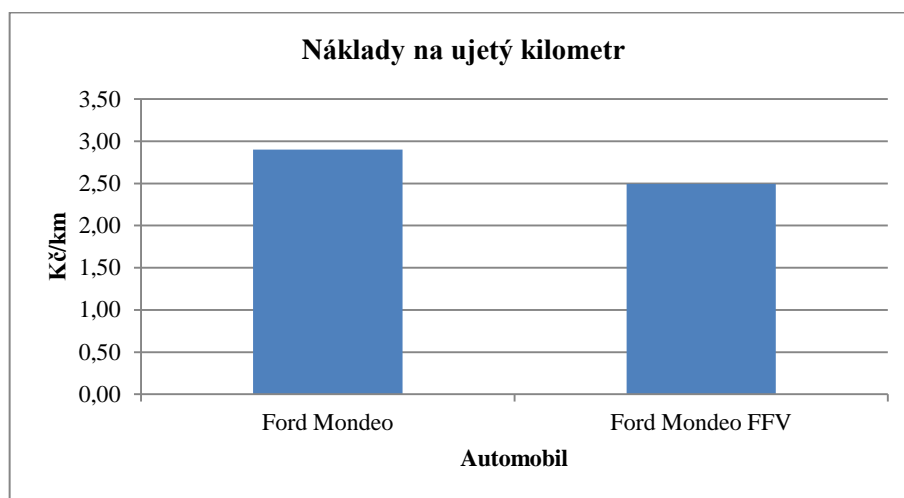
Obr. 12: Nové automobily - 100% podíl paliva E85 pro verze FFV a MultiFuel

Pro automobily FFV a MultiFuel, při 100% podílu paliva E85 na provozu, viz Obr. 12, vyplývá, že náklady na ujetý kilometr, při provozu na bioetanol, mohou být i vyšší, a to v závislosti na spotřebě paliva E85, oproti jinak stejným automobilům, spalujícím benzín. Důležitý je zejména nárůst spotřeby při provozu na palivo E85. Jelikož se u automobilu Škoda Octavia nerealizuje úspora nákladů, nebude se jím autor práce dále zabývat. V případě FFV automobilu Ford lze snížit náklady na ujetý kilometr cca o 15 % a dosáhnout tak návratnosti investice pro alternativní pohon přibližně při kilometrovém proběhu **35 000 km**, během uvažované technické životnosti automobilu. Pokud je tedy uvažovaná technická životnost automobilu 10 let a celkový kilometrový proběh 300 000 km, lze uspořit jízdou na palivo E85 zhruba **115 000 Kč**, což je asi 8,1 % z nákladů životního cyklu pro uvažovaný referenční typ pohonu.

Pokud je uvažována jízda v zimním období, tj. cca 40 % dní v roce, na palivo BA95 a po zbytek roku jízda na palivo E85, lze snížit průměrné náklady na ujetý kilometr pro FFV automobil Ford o 8 % a dosáhnout návratnosti do alternativního typu pohonu při kilometrovém proběhu **66 500 km**, resp. za cca 2 roky provozu v tomto konkrétním případě. Během uvažované technické životnosti pohonu lze uspořit cca **53 000 Kč**, což představuje přibližně 3,7 % z nákladů životního cyklu referenčního typu pohonu.

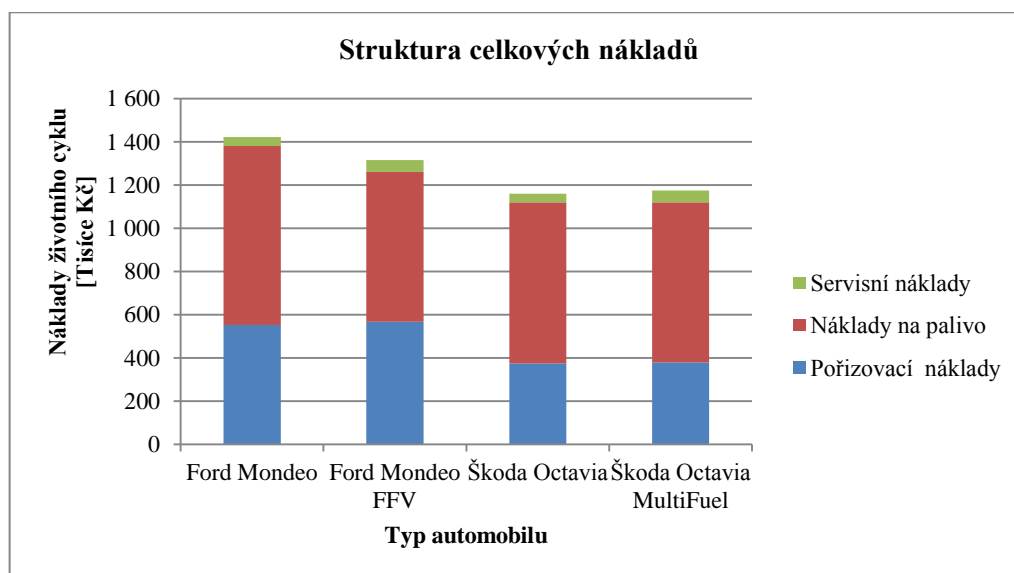
Pokud je spalován benzín pouze při teplotách pod -10 °C a jinak je spalováno palivo E85, lze uspořit na každém ujetém kilometru 14 % nákladů, viz Obr. 13 a návratnosti investice do FFV automobilu bude dosaženo po ujetí vzdálenosti **37 000 km**, což odpovídá přibližně ročnímu kilometrovému proběhu, který je ve výši 30 000 km. Z pohledu nákladů životního cyklu pohonu realizujeme, oproti referenčnímu typu

konvenčního pohonu automobilu, úsporu ve výši 7,5 %, resp. **107 000 Kč**. Tato varianta užití bude uvažována jako referenční při vzájemném porovnávání v závěrečné části práce.



Obr. 13: Nový automobil - 95% podíl paliva E85 pro verzi FFV

Náklady životního cyklu pohonu automobilu se určí ze vztahu (2), jako součet pořizovacích a vlastnických nákladů. Graficky je vhodné vyjádřit *LCC*, jako součet pořizovacích nákladů, nákladů na palivo a servisních nákladů, viz Obr. 14. Náklady na pohonné hmoty se získají např. jako „Vlastnické náklady“ – „Servisní náklady“.



Obr. 14: Nové automobily – změny ve struktuře nákladů pro verze FFV a MultiFuel

Kratší servisní interval výměny u některých nákladových položek alternativního typu pohonu, plynoucí z užívání paliva E85, způsobuje nárůst servisních nákladů o 35 %, oproti referenční verzi pohonu. Servisní náklady se na nákladech životního cyklu

pohonu automobilu podílejí pouze 4 %. Celkově tedy převažuje úspora pohonných hmot, která je ve výši 16 %.

Vzhledem k faktu, že dle [32] v ČR existuje pouze cca 100 čerpacích stanic, nabízejících palivo *E85*, je pravděpodobná zajižďka kvůli zajištění tohoto paliva. Pokud je pravidelně uražená vzdálenost, související se zajištěním paliva *E85*, ve výši 20 km, dosáhne se v rámci životního cyklu pohonu o 11,5 % nižších nákladů na ujetý kilometr. Návratnosti investice do *FFV* automobilu bude dosaženo po ujetí **44 000 km**, resp. po 1,5 roce provozu při ročním kilometrovém proběhu 30 000 km. Na nákladech životního cyklu automobilu lze ušetřit přibližně 6 %, což představuje úsporu nákladů v průběhu uvažovaného technického života automobilu ve výši **85 000 Kč**.

#### **4.1.1 Zhodnocení nákupu automobilu spalujícího bioetanol**

Příplatek za verzi automobilu upraveného pro spalování bioetanolu je z pohledu pořizovací ceny nového automobilu zcela minimální. Nelze však jednoznačně konstatovat, zda má z pohledu nákladů smysl jezdit na palivo *E85* či nikoli. Velmi záleží na udávané spotřebě alternativního pohonu automobilu.

##### **Výhody:**

- nízké pořizovací náklady;
- nízké lokální emise;
- kultivovanější chod motoru.

##### **Nevýhody:**

- zpravidla kratší servisní intervaly;
- možné problémy v zimním období;
- horší skladovatelnost paliva;
- nízká úspora nákladů.

## 4.2 Automobily spalující *LPG*

Pro potřeby analýzy *LCC*, v případě pohonu na palivo *LPG*, byl zvolen autorem práce opět model Škoda Octavia s motorizací 1,6 *MPI*, ovšem s úpravou na *LPG*. Automobil Škoda Octavia v provedení Bi-fuel byl uveden na trh dle [33] v roce 2009. Provedení Bi-fuel umožňuje spalování benzínu i *LPG*. Benzínová nádrž má objem 55 l a při deklarované spotřebě 7.1 l/100km činí dojezd automobilu přibližně 775 km. Důležitějším faktorem pro případné zájemce o takto upravený automobil je dojezdová vzdálenost při jízdě na palivo *LPG*. Nádrž na *LPG* má využitelný objem 44 l a výrobcem udávaná spotřeba činí 9.2 l/100km. Spotřeba při jízdě na palivo *LPG* je tedy vyšší o necelých 30 %. Dojezdová vzdálenost pro pohon na palivo *LPG* je přibližně 480 km. Zároveň výrobce udává spotřebu *LPG* o 10 – 15 % vyšší, oproti spotřebě benzínu při stejném stylu jízdy. Rovněž je deklarována mírně vyšší spotřeba *LPG* v zimním období, kdy se mění podíl propanu a butanu. Kombinovaný dojezd automobilu je cca 1200 km. [34]

Motor automobilu s instalovaným systémem *LPG* standardně startuje na benzín a po jeho zahřátí na provozní teplotu dojde k automatickému přepnutí na palivo *LPG*, ovšem při splnění některých podmínek. Podmínky, které musí být splněny, aby došlo k přepnutí pohonu na palivo *LPG* jsou teplota chladicí kapaliny a dostatek paliva *LPG* v nádrži. Teplota chladicí kapaliny musí být vyšší než 30 °C. Systém automaticky přepne z pohonu na *LPG* zpět na benzín pokud není v nádrži dostatek paliva *LPG*, při poruše systému *LPG* nebo při poklesu okolní teploty pod -10 °C. [34]

V této práci je uvažováno 18 dní, kdy teplota poklesne pod výše zmíněnou teplotu a nedojde tedy k automatickému přepnutí na palivo *LPG*. Přibližně v 5 % případů tedy nebude možné spolehlivě využívat alternativní pohon.

Jelikož je nádrž na *LPG* umístěna místo rezervního kola, tak je v případě defektu nutno použít sadu na lepení pneumatik. Využitelný prostor automobilu se zástavbou systému *LPG* nijak nezmění. Pohotovostní hmotnost automobilu je vyšší o 50 kg, oproti klasické benzínové verzi, ovšem maximální přípustná hmotnost automobilu je u Bi-fuel verze o 35 kg vyšší. Údržba systému *LPG* se vykonává v intervalu 30 000 km a interval výměny nádrže pro palivo *LPG* je standardních 10 let. [34]

Spotřeba benzínu v případě automobilu, který je za normálních okolností poháněn palivem *LPG*, závisí na počtu studených startů. Autor práce předpokládá 480 studených startů za rok pro uvažovaný roční nájezd automobilu ve výši 30 000 km. Jedná se o reflektování faktu, že automobil i při uvažovaném výhradním podílu jízdy na palivo *LPG*, urazí vždy určitou vzdálenost na benzín. Objem benzínu potřebného pro zahřátí motoru na požadovanou teplotu, při které dojde k přepnutí na palivo *LPG*, nelze přesně vyčíslit. Autor práce určil spotřebu benzínu pro každý „studený start“ ve výši 0,2 l. Automobil se systémem *LPG*, na základě výše zmíněných předpokladů, spotřebuje za rok 96 l benzínu ( $480 \cdot 0,2$ ), bez ohledu na očekávaný podíl jízdy na palivo *LPG*. Spotřeba benzínu, sloužící pro výpočet ujeté vzdálenosti po studeném startu na palivo benzín, byla zvolena autorem práce na 7 l/100km. V souladu s výše uvedenými předpoklady urazí uvažovaný automobil za rok cca 1 400 km pouze za použití benzínu.

Do modelu *LCC* bude vstupovat soubor nákladových položek, výše uvedené předpoklady a hodnoty uvedené v Tab. 3. Vzhledem k zimnímu období bude uvažován podíl jízdy na palivo *LPG* ve výši 95 %, čili 5 % uvažovaného nájezdu je ураženo za použití benzínu. Výpočty jsou provedeny v souladu s postupy uvedenými v kapitole 2.2, nicméně vzorec (3) je nutné mírně modifikovat z důvodu již zmíněných studených startů. Modifikovaný vzorec vlastnických nákladů bude navíc obsahovat proměnné  $T$  (doba plánované životnosti pohonu),  $S_s$  (počet studených startů),  $S_b$  (objem spotřebovaného benzínu pro ohřátí chladicí kapaliny) a  $S_p$  (spotřeba benzínu do ohřátí chladicí kapaliny).

Příklad výpočtu vlastnických nákladů pro *LPG* pohon:

Servisní náklady ( $SN$ ) jsou vypočteny ve výši **77 510 Kč** za dobu technické životnosti pohonu. Dále je podíl alternativního paliva na kilometrovém proběhu automobilu **95 %**. Ostatní potřebné údaje byly již zmíněny nebo jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3: Vstupní hodnoty do *LCC* analýzy pro pohon na palivo *LPG*

Automobil	PN [Kč]	PK (celkem)	T [let]	SK [l/100km]	SA [l/100km]	CK [Kč/l]	CA [Kč/l]	Servisní interval [km]
Škoda Octavia	373 900	300 000	10	7,1	0,0	35,0	17,0	15 000
Škoda Octavia Bi-fuel	403 900	300 000	10	7,1	9,2	35,0	17,0	15 000

Příslušné hodnoty jsou dosazeny do modifikovaného vzorce vlastnických nákladů (VN) a následně vypočteny, viz následující výpočet.

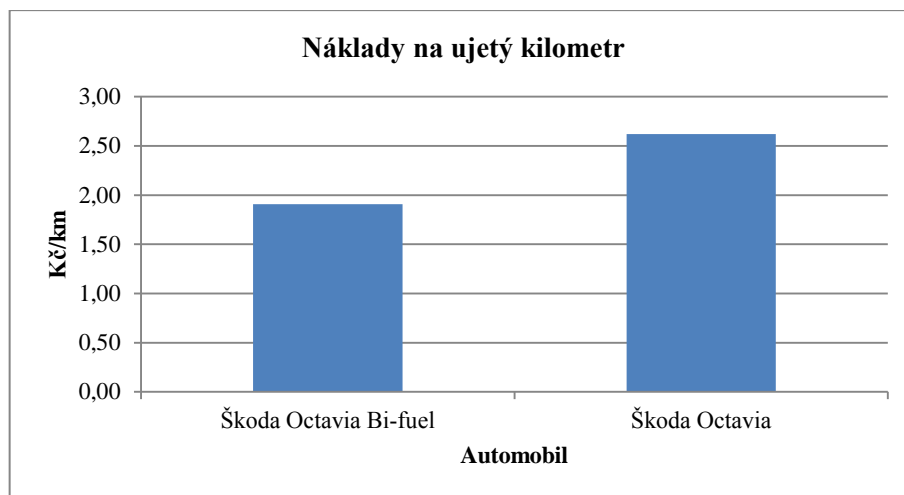
$$\begin{aligned}
 VN &= SN + \frac{PA [\%]}{100} * \frac{\left( PK - T * Ss * \frac{Sb}{Sp} * 100 \right)}{100} * SA * CA + \left( 1 - \frac{PA [\%]}{100} \right) * \\
 &\quad * \frac{\left( PK - T * Sb * \frac{Sp}{Ss} * 100 \right)}{100} * SK * CK + T * Sb * Ss * CK \\
 &= 77\,510 + \frac{95 [\%]}{100} * \frac{\left( 300\,000 - 10 * 480 * \frac{0,2}{7} * 100 \right)}{100} * 9,2 * 17 + \\
 &\quad + \left( 1 - \frac{95 [\%]}{100} \right) * \frac{\left( 300\,000 - 10 * 480 * \frac{0,2}{7} * 100 \right)}{100} * 7,1 * 35 + 10 * 0,2 * 480 * 35 \\
 &= 77\,510 + 494\,534 = \mathbf{572\,044\,Kč}
 \end{aligned}$$

Po dosazení výše vypočtených vlastnických nákladů (VN) do vzorce (5) vychází náklady pro pohon na palivo *LPG* ve výši **1,91 Kč/km**, oproti **2,62 Kč/km** v případě referenčního benzínového pohonu, viz Obr. 15. Dosažená úspora nákladů na ujetý kilometr v případě pohonu na *LPG* činí 27 %, ve srovnání s referenčním typem pohonu.

Návratnost investice do alternativního pohonu se následně spočítá pomocí vztahu (6).

$$NI = \frac{PN_A - PN_K}{NUK_K - NUK_A} = \frac{403\,900 - 373\,900}{2,62 - 1,91} = \mathbf{42\,253\,km}$$

Návratnosti investice (NI) do alternativního pohonu je dosaženo přibližně po ujetí vzdálenosti **42 000 km**, čili za cca 1,5 roku užívání automobilu při ročním kilometrovém proběhu ve výši 30 000 km a za celou dobu technické životnosti automobilu se realizuje přibližná úspora nákladů životního cyklu alternativního pohonu automobilu ve výši **183 000 Kč**, resp. 16 %, oproti referenčnímu benzínovému automobilu. Tato varianta užití automobilu s alternativním pohonem na *LPG* bude uvažována jako referenční při vzájemném porovnávání jednotlivých typů pohonu v závěrečné části práce.

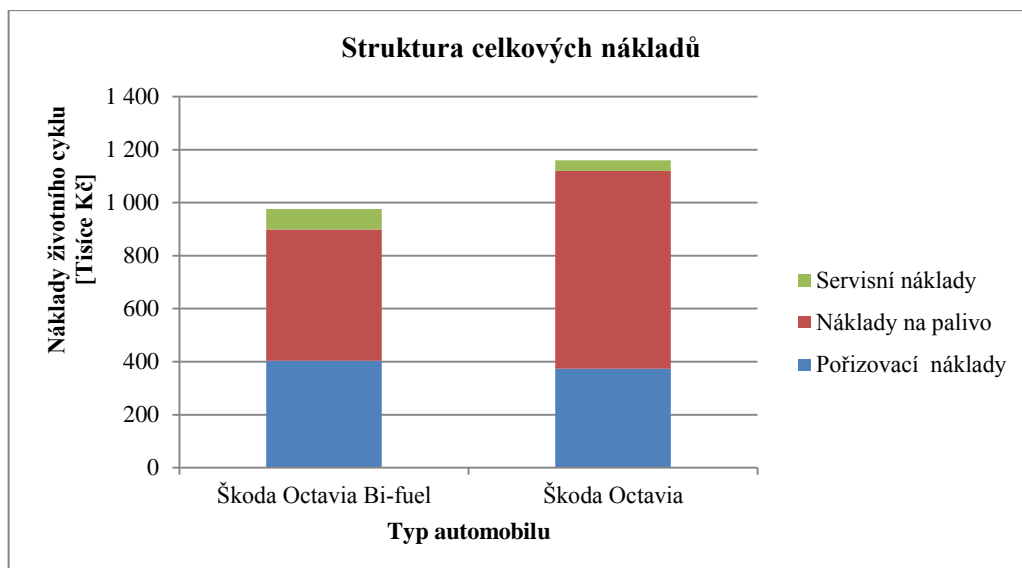


Obr. 15: Nový automobil - 95% podíl paliva *LPG* pro verzi Bi-fuel

Vzhledem k faktu, že dle [35] v ČR existuje cca 600 míst, kde lze načerpat palivo *LPG*, je pravděpodobná zajišťka kvůli čerpání tohoto paliva. Pro pravidelný kilometrový proběh ve výši 20 km, spojený se zajištěním paliva, budou náklady na ujetý kilometr pro systém *LPG* ve výši **2 Kč**. Náklady na ujetý kilometr budou nižší o 24 % oproti referenčnímu pohonu. Návratnost investice do systému *LPG* se prodlouží na přibližných **47 000 km**, což vzhledem k předpokládanému ročnímu nájezdu 30 000 km představuje opět cca 1,5 roku provozu a realizovaná úspora nákladů v průběhu uvažovaného technického života automobilu bude ve výši **161 000 Kč**, resp. ve výši 14 %.

Servisní náklady *LPG* verze automobilu jsou dvakrát vyšší oproti referenční benzínové verzi, a to zejména z důvodu většího souboru nákladových položek. Podíl servisních nákladů na nákladech životního cyklu pohonu automobilu je 8 %. Strukturu *LCC* lze nalézt na Obr. 16.





Obr. 16: Nový automobil – změny ve struktuře nákladů pro verzi Bi-fuel

#### 4.2.1 Zhodnocení nákupu automobilu spalujícího *LPG*

Pořizovací cena automobilu na *LPG* je zpravidla situována mezi benzínovou a naftovou motorizací. Návratnosti investice je pro referenční variantu dosaženo po ujetí **42 000 km**, tj. po cca 1,5 roku provozu při ročním kilometrovém proběhu 30 000 km. V rámci uvažované technické životnosti automobilu je realizována úspora nákladů již zmiňovaných **183 000 Kč**, tj. 16 %, oproti nákladům referenčního pohonu. Je tedy dosaženo nesporné úspory nákladů ve prospěch pohonu na *LPG*.

##### Výhody:

- kultivovaný chod;
- výrazná úspora nákladů oproti jinak identickému benzínovému motoru;
- nižší emise;
- příznivé pořizovací náklady;
- poměrně krátká doba návratnosti.

##### Nevýhody:

- zpravidla absence rezervního kola;
- nehodí se pro jízdu na krátké vzdálenosti;
- revizní interval 1 rok nebo 10 000 km;
- nelze vjíždět do všech podzemních garáží.

### 4.3 Automobily spalující CNG

Pro analýzu *LCC* u nového automobilu byl autorem práce zvolen Fiat Panda 1.4 Natural Power Dynamic o výkonu 51 kW. Referenční automobil je benzínová verze jinak identického automobilu, po technické stránce s nepatrně slabší motorizací o objemu 1.2 l a výkonem 50 kW. Je potřeba si uvědomit, že motor při provozu na palivo *CNG* citelně ztrácí výkon oproti provozu na benzín. Dle [36] a [37] je výkonnostně slabší referenční automobil dokonce o trochu rychlejší, než verze s motorem o objemu 1.4 l při provozu na palivo *CNG*.

Pořizovací náklady na verzi *CNG*, v okamžiku tvorby této práce, byly 385 900 Kč. Referenční benzínová verze stojí ve stejném stupni výbavy 240 900 Kč. Příplatek za verzi s pohonem na palivo *CNG* činí 145 000 Kč.

Výrobce udávaná spotřebu paliva *CNG* pro automobil s alternativním pohonem ve výši 4,2 kg/100km a při provozu na benzín udává spotřebu paliva 6 l/100km [36]. Pro referenční motorizaci o objemu 1.2 l činí spotřeba benzínu 4,9 l/100km [36].

Výrobce dále uvádí, že při provozu na *CNG* dochází k poklesu výkonu o cca 10 %. Automobil s pohonem na *CNG* vždy startuje na benzín, děje se tak kvůli ochraně benzínové části automobilu s tím, že se po několika vteřinách od nastartování automaticky přepne z benzínu na zemní plyn. Je tedy nutné dostatečné množství benzínu v nádrži. [36]

Vzhledem k objemu spotřebovaného benzínu pro potřebu startování motoru s alternativním pohonem na *CNG* se tato spotřeba přímo neuvažuje. Vzhledem k deklarované dojezdové vzdálenosti 270 km lze usuzovat, že při delších vzdálenostech bude potřeba jízdy na benzín. Vzhledem k pořizovacím nákladům na tento typ pohonu autor práce uvažuje, že uživatel tohoto typu pohonu bude jezdit výhradně na *CNG*. Životnost tlakové nádrže je stanovena na 15 let proto se zpravidla neuvažuje její výměna v rámci technické životnosti automobilu. Výrobce dále uvádí, že při teplotě pod -10 °C se prodlužuje při studeném startu doba chodu motoru na benzín, aby se zajistila správná funkce regulátoru tlaku. Servisní interval udávaný výrobcem je 20 000 km a v těchto periodách se vykonává i preventivní údržba systému *CNG*. [36]

Autor práce stanovil standardní servisní interval na 15 000 km nebo 1 rok, a to z toho důvodu, že pro každý typ pohonu jsou uvažovány jedny servisní náklady, které jednotlivé

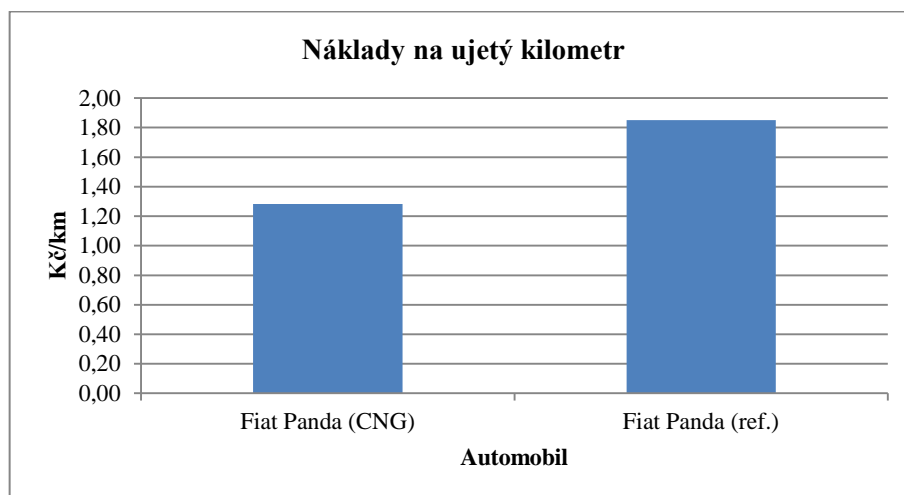
automobily se stejným typem pohonu sdílejí. Servisní interval je dán životností nákladových položek určených k pravidelné výměně (jako např. olejová náplň motoru) a některé diplomantem vybrané položky mají servisní interval stanoven na 15 000 km. Nejedná se tedy o zjednodušení, ale spíše o skutečnost, že v této práci je provedena analýza *LCC* pro konkrétní, autorem práce vybrané automobily, nicméně servisní náklady jsou uvažovány pro libovolný osobní automobil s daným typem pohonu.

Výši vlastnických nákladů a strukturu nákladů životního cyklu se určí identickým způsobem jako v případě pohonu *LPG* v kapitole 4.2. Náklady na ujetý kilometr se vypočítají dle vzorce (5). Návratnost investice se získá po dosazení příslušných hodnot do vzorce (6).

Tab. 4: Vstupní hodnoty do *LCC* analýzy pro pohon na *CNG*

Automobil	PN [Kč]	PK (celkem)	T [let]	SK [l/100km]	SA [kg/100km]	CK [Kč/l]	CA [Kč/l]	Servisní interval [km]
Fiat Panda (CNG)	385 900	300 000	10	6,0	4,2	35,0	25,9	15 000
Fiat Panda (ref.)	240 900	300 000	10	4,9	0	35,0	25,9	15 000

Při výhradním provozu automobilu na palivo *CNG* lze dosáhnout návratnosti investice do alternativního pohonu, oproti uvažované referenční motorizaci, až po ujetí **252 000 km**, čili při uvažovaném ročním nájezdu 30 000 km až za 8,5 roku provozu. Pohon na *CNG* ušetří na každém ujetém kilometru až 31 % nákladů, viz Obr. 17.



Obr. 17: Nový automobil – 100% podíl paliva pro verzi *CNG*

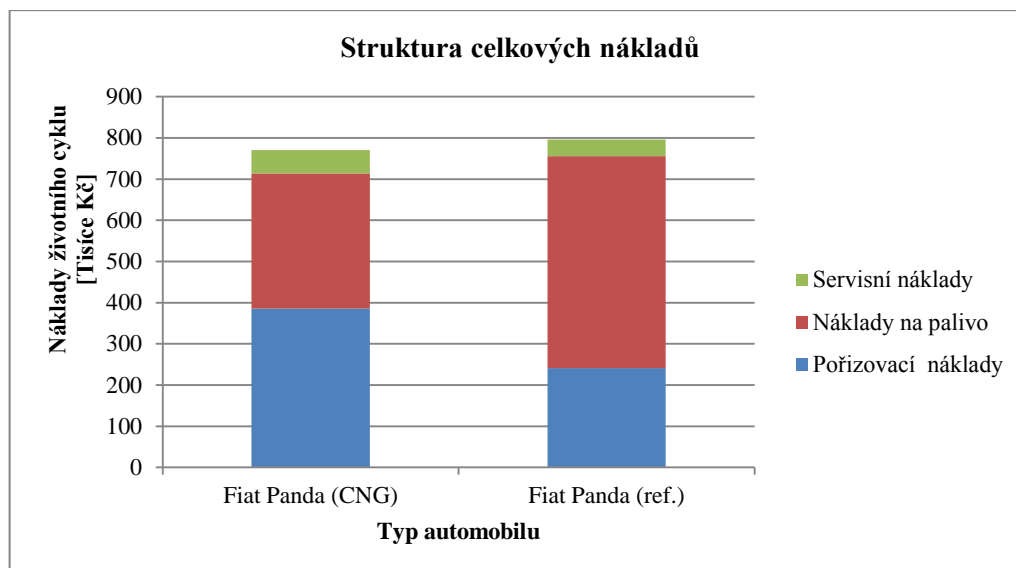
Vzhledem k faktu, že dle [38] v ČR existují pouze desítky veřejných čerpacích stanic na *CNG*, přičemž je plánováno jejich rozšíření na cca 100 čerpacích stanic v blízké

budoucnosti, je velmi pravděpodobná zajižďka kvůli čerpání tohoto paliva. Pokud uvažována pravidelná zajižďka k čerpací stanici v celkové výši (tam i zpět) 20 km, dosáhne se návratnost investice do alternativního pohonu na *CNG* až po ujetí **300 000 km**, při srovnání s referenčním automobilem, tzn. až za 10 let užívání, což zároveň odpovídá plánované technické životnosti automobilu. Náklady na ujetý kilometr v tomto případě vzrostou z původních **1,28 Kč/km** na **1,38 Kč/km**. V rámci životního cyklu pohonu automobilu lze získat náklady na ujetý kilometr nižší o 25,4 %, při srovnání s referenčním automobilem.

Z výše uvedené analýzy *LCC* vyplývá, že výhodnost tohoto typu paliva je z ekonomického hlediska velmi diskutabilní. Problém návratnosti investice do alternativního pohonu na *CNG* je způsoben jeho vysokými pořizovacími náklady. Vzhledem k nižšímu výkonu motoru při spalování *CNG*, lze uvažovat referenční automobil se slabším a zpravidla úsporným benzínovým motorem. Vývoj konvenčních motorů spalujících benzín nebo naftu stále trvá a jejich ekonomičnost se neustále zlepšuje. Návratnost je proto v tomto konkrétním případě poměrně špatná, a to i přes relativně nízké náklady na ujetý kilometr. Vzhledem ke kombinaci benzínového pohonu a pohonu na *CNG* není dosaženo takové efektivity při využití paliva *CNG*, jako u automobilu přímo upraveného pro výhradní provoz na tento typ paliva, a to působí negativně na náklady životního cyklu pohonu automobilu [37].

Pohotovostní hmotnost vozidla činí v případě verze s pohonem na *CNG* 1050 kg a pro referenční benzínovou verzi 860 kg. Objem zavazadlového prostoru je u verze s instalovaným systémem *CNG* 190 l a u benzínové verze 206 l. Užitečná zatížitelnost automobilu je u *CNG* verze nižší, a to sice 390 kg oproti 445 kg u referenční benzínové verze. [36], [37]

Servisní náklady vycházejí vyšší přibližně o 40 % oproti referenční benzínové verzi. Celkovou strukturu nákladů lze nalézt na Obr. 18.



Obr. 18: Nový automobil – změny ve struktuře nákladů pro verzi CNG

### 4.3.1 Autobus spalující CNG

V této kapitole bude provedena stručná LCC analýza nákladů pro autobus spalující CNG. Vzhledem k absenci věrohodných servisních nákladů budou tyto náklady zanedbány. Spotřeba naftového autobusu bude činit 40 l/100km a spotřeba CNG autobusu bude činit 38 kg/100km v souladu s [39].

Vstupní hodnoty do modelu, viz Tab. 5, budou dosazeny do vzorce (3).

Tab. 5: Vstupní hodnoty do modelu LCC pro autobus spalující CNG

Automobil	PN [Kč]	PK (celkem)	T [let]	SK [l/100km]	SA [l/100km]	CK [Kč/l]	CA [Kč/l]
Autobus (CNG)	600 000	500 000	10	0,0	38,0	34,0	25,9
Autobus (ref.)	0	500 000	10	40,0	0,0	34,0	25,9

Vlastnické náklady (resp. náklady na palivo) pro CNG autobus, viz následující výpočet.

$$\begin{aligned}
 VN &= SN + \frac{PA [\%]}{100} * \frac{PK}{100} * SA * CA + \left(1 - \frac{PA [\%]}{100}\right) * \frac{PK}{100} * SK * CK \\
 &= 0 + \frac{100 [\%]}{100} * \frac{500\,000}{100} * 38 * 25,9 + 0 * \dots = \mathbf{4\,921\,000\,Kč}
 \end{aligned}$$

Vlastnické náklady (resp. náklady na palivo) pro naftový autobus, viz následující výpočet.

$$VN = SN + \frac{PA [\%]}{100} * \frac{PK}{100} * SA * CA + \left(1 - \frac{PA[\%]}{100}\right) * \frac{PK}{100} * SK * CK$$

$$= 0 + 0 * \dots + 1 * \frac{500\,000}{100} * 40 * 34 = \mathbf{6\,800\,000\,Kč}$$

Při uvažovaném ročním nájezdu 50 000 km a plánované technické životnosti autobusu 10 let budou náklady pro referenční naftový autobus vycházet na 6 800 000 Kč a pro autobus s pohonem na *CNG* to bude 4 900 000 Kč. Úspora nákladů je pro pohon na palivo *CNG* ve výši 1 900 000 Kč. Vzhledem k pořizovacím nákladům za pohonu na *CNG*, ve výši předpokládaných 600 000 Kč, uspoří tento autobus za celou dobu plánované technické životnosti **1 300 000 Kč**. Náklady na ujetý kilometr budou, po dosazení příslušných hodnot do vzorce (5), v případě *CNG* autobusu ve výši **9,84 Kč** a pro referenční autobus **13,60 Kč**. Návratnosti investice do alternativního typu pohonu bude v tomto případě dosaženo po ujetí **160 000 km**, tj. pro uvažovaný roční kilometrový proběh 50 000 km po cca 3 letech provozu. [40]

Dle [41] jsou roční servisní náklady pro *CNG* autobus vyšší o přibližně 100 000 Kč, oproti jinak stejné naftové motorizaci. Po opětovném vypočtení vlastnických nákladů (*VN*) se započtením servisních nákladů pro celou dobu technické životnosti autobusu a dosazením do vzorce (5) bude stát ujetý kilometr v autobusu s pohonem na *CNG* **11,84 Kč**. Úspora by byla v rámci technické životnosti autobusu pouze **300 000 Kč** a návratnosti investice do pohonu na *CNG* by bylo dosaženo až po ujetí vzdálenosti **350 000 km**, což odpovídá 7 rokům provozu pro předpokládaný roční kilometrový proběh ve výši 50 000 km.

### 4.3.2 Zhodnocení nákupu automobilu spalujícího *CNG*

Problémem u pohonu na palivo *CNG* je pořizovací cena. Samotné provozní náklady jsou velmi příznivé. Nevýhodou pohonu na *CNG* může být pokles výkonu motoru, k němuž dochází, pokud není přímo uzpůsoben pro spalování tohoto typu paliva. Z pohledu nákladů životního cyklu pohonu není v této práci uvažovaný automobil na *CNG* příliš výhodný. Velkou nevýhodou pohonu *CNG* je, že na stejný objem nádrže je dojezdová vzdálenost automobilu spalujícího *CNG*, v porovnání s automobily užívající kapalná nebo zkapalněná paliva, výrazně kratší. Z tohoto důvodu, pro dosažení dojezdové vzdálenosti jako v případě konvenčních typů pohonu, je potřeba instalovat

několik objemných nádrží, které mohou omezit objem zavazadlového prostoru a zároveň zvýšit pohotovostní hmotnost vozidla.

**Výhody:**

- nízké náklady na ujetý kilometr;
- nízké emise;
- standardní servisní interval.

**Nevýhody:**

- vysoké pořizovací náklady na tento typ pohonu;
- doba návratnosti;
- nutnost ročních revizí;
- dojezdová vzdálenost silně závisí na počtu instalovaných nádrží.

## **4.4 Elektromobily a hybridní automobily**

Za představitele elektromobilu byl diplomantem zvolen, pro účely *LCC* analýzy, Citroën C-Zero. Prodej tohoto automobilu započal v roce 2011. Jelikož se jedná o novinku, není s tímto automobilem dostatek zkušeností z provozu.

Dále byl vzat do úvahy automobil Chevrolet Volt, který vzbudil vlnu zájmu v *USA*, ale u nás se zatím neprodává. Chevrolet Volt je představitelem elektromobilu s prodlouženým dojezdem. Prodloužený dojezd je zajištěn benzínovým spalovacím motorem, který slouží jako tzv. „range extender“, tj. plní funkci generátoru elektrické energie. Spalovací motor dodá potřebnou elektrickou energii v okamžiku, kdy jí není dostatek v bateriích. [42]

Jako reprezentant hybridních automobilů byl diplomantem vybrán nejrozšířenější hybridní automobil na světě Toyota Prius. Tento hybridní automobil je vybaven automatickou převodovkou s technologií *CVT*. Kombinovaný výkon spalovacího motoru a elektromotoru je přibližně 100 kW.

Jako referenční automobil byl autorem práce zvolen Škoda Octavia 1.8 *TSI* se 7 stupňovou automatickou převodovkou. Přestože zájemci o automobily s automatickou převodovkou tvoří na našem trhu specifickou skupinu, autor práce se domnívá, že by nebylo korektní porovnávat elektromobily a hybridy s manuálními převodovkami

konvenčních pohonů. Technickými parametry se referenční automobil blíží Toyotě Prius.

Pořizovací cena Citroënu C-Zero činí 887 880 Kč. Vzhledem k uvažované technické životnosti automobilu, viz Tab. 5, bude do nákladů životního cyklu započítána cena nových baterií. Dojezd Citroënu C-Zero je maximálně 150 km a baterie mají využitelnou kapacitu 15,2 kWh [43] a nové baterie stojí přibližně 450 000 Kč [44]. Doba nabíjení elektromobilu trvá ze standardní elektrické zásuvky na 230 V několik hodin, přičemž rychlonabíjení trvá přibližně 30 minut. [43]

Chevrolet Volt by mohl, po přepočtu na české koruny, stát v době psaní této práce přibližně 750 000 Kč. Jelikož není známa cena vestavěných baterií, nebude tento automobil zahrnut do *LCC* analýzy. Použité baterie mají u tohoto automobilu využitelnou kapacitu 10,4 kWh. Dojezd na vestavěné baterie je maximálně 80 km a dalších přibližně 500 km zajistí benzínový motor plnící funkci generátoru elektrické energie.

Jako představitel hybridního typu pohonu byl autorem práce zvolen již zmíněný automobil Toyota Prius. Pořizovací cena byla u tohoto automobilu s hybridním pohonem, v okamžiku psaní práce, 639 900 Kč a nové baterie dle [45] stojí 66 000 Kč. Spotřeba udávaná výrobcem je 3,9 l/km. Údržba elektrické části je vykonávána až v okamžiku výměny baterií.

Toyota Prius i Chevrolet Volt mají interval výměny baterií stanoven na 160 000 km nebo 8 let, a jelikož interval výměny baterií pro automobil Citroën C-Zero není znám, bude uvažován v rámci *LCC* analýzy jednotný servisní interval výměny baterií výše zmíněných 160 000 km nebo 8 let. [46], [47]

Vstupní hodnoty, které budou zahrnuty do analýzy *LCC*, viz Tab. 5, společně s výše zmíněnými náklady, budou využity pro výpočet vlastnických nákladů. Elektrická část pohonu hybridů a elektromobilů nepodléhá pravidelné údržbě, pouze se provádí případná výměna baterií. V případě hybridního automobilu uvažuje diplomant stejné náklady související s údržbou spalovacího motoru, jako v případě běžného benzínového automobilu. Dominantní nákladovou položku u elektromobilů a hybridů tvoří vestavěná baterie.



Servisní náklady se opět spočítají dle vzorce (4) a vzhledem k plánované technické životnosti uvažovaných automobilů, viz Tab. 6, dojde k výměně baterií. Servisní náklady, pro uvažovanou dobu technické životnosti, budou pro Toyota Prius cca 120 000 Kč a pro Citroën C-Zero cca 460 000 Kč. Servisní interval je opět diplomantem stanoven na 15 000 km (běžný servisní interval pro osobní automobily).

Tab. 6: Vstupní hodnoty do modelu *LCC* pro elektromobil a hybridní pohon

Automobil	PN [Kč]	PK (celkem)	T [let]	SK [l/100km]	SA [kWh/100km]	CK [Kč/l]	CA [Kč/kWh]	Servisní interval [km]
Toyota Prius (hybrid)	639 000	300 000	10	3,9	0,0	4,61	4,61	15 000
Citroën C-ZERO (elektromobil)	887 880	300 000	10	0,0	13,5	4,61	4,61	15 000
Automobil (ref.)	593 900	300 000	10	6,6	0,0	4,61	4,61	15 000

Vlastnické náklady se vypočítají dle vzorce (3).

Příklad výpočtu vlastnických nákladů pro automobil Citroën C-Zero:

$$VN = SN + \frac{PA [\%]}{100} * \frac{PK}{100} * SA * CA + \left(1 - \frac{PA [\%]}{100}\right) * \frac{PK}{100} * SK * CK$$

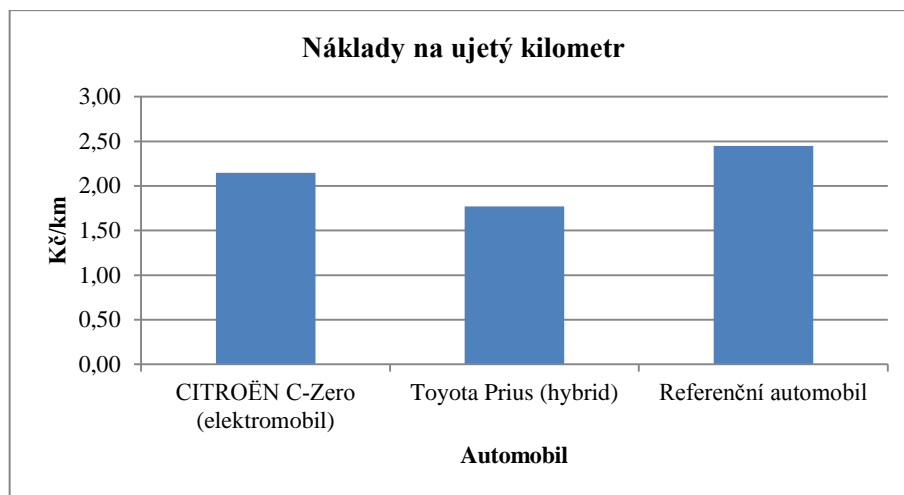
$$= 460\,000 + 1 * \frac{300\,000}{100} * 13,5 * 4,61 + 0 * \dots = \mathbf{646\,705\,Kč}$$

Náklady na ujetý kilometr se poté vypočtou dle vzorce (5).

Příklad výpočtu nákladů na ujetý kilometr pro automobil Citroën C-Zero:

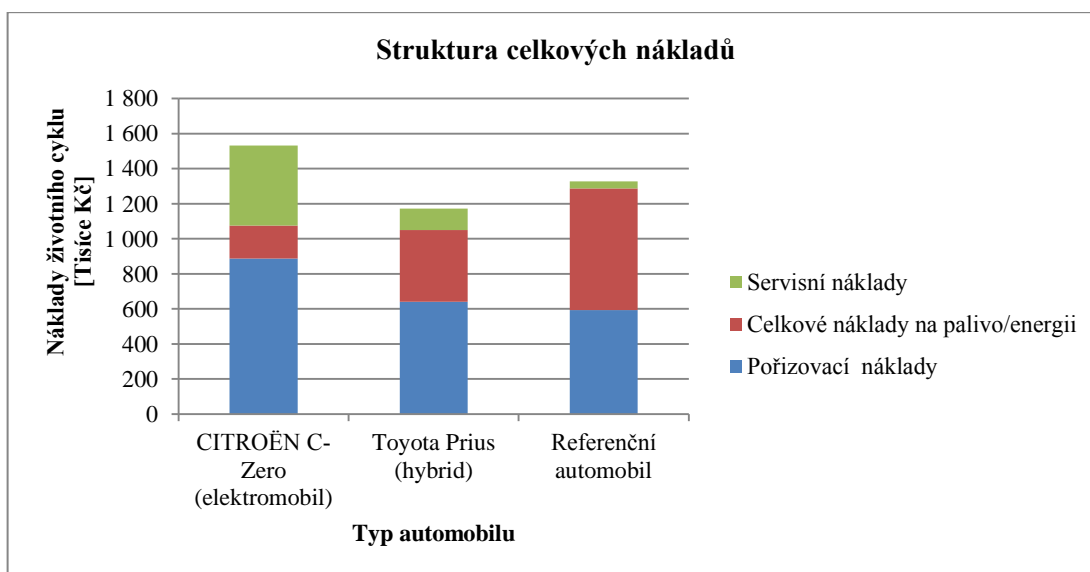
$$NUK = \frac{VN}{PK_{plánovaných}} = \frac{646\,705}{300\,000} = \mathbf{2,15\,Kč/km}$$

Náklady na ujetý kilometr, při výhradním provozu na elektrickou energii, jsou znázorněny na Obr. 19. Hybridní automobil dosahuje poměrně nízkých nákladů na ujetý kilometr, oproti uvažovanému referenčnímu benzínovému automobilu. V případě uvažovaného elektromobilu nejsou náklady na ujetý kilometr, oproti očekávání, příliš příznivé.



Obr. 19: Nové automobily – elektromobil a hybrid

Při pohledu na náklady životního cyklu automobilu (viz Obr. 20) je zřejmé, že současné pořizovací ceny elektromobilů jsou velmi vysoké i po odečtení ceny baterií, které tvoří cca 50 % z pořizovací ceny automobilu. Případní zájemci si tyto automobily nekoupí z ekonomických důvodů.



Obr. 20: Změny ve struktuře nákladů pro elektromobil a hybrid

Pořízení zde uvažovaného hybridního automobilu není nikterak nevýhodné, pakliže k jeho pořízení vedou i jiné důvody, než pouze úspora nákladů. Elektromobily mohou v současnosti oslovit zejména ekologicky smýšlející skupinu zákazníků toužících po ničím nerušeném svezení, bez ohledu na pořizovací cenu a návratnost investice. Z ekonomického hlediska může mít smysl hybridní technologie a v případě automobilu Toyota Prius je návratnost investice do hybridního pohonu při cca **68 000 km**, při

srovnání s referenčním automobilem, tj. pro uvažovaný roční kilometrový proběh ve výši 30 000 km po cca 2 letech provozu.

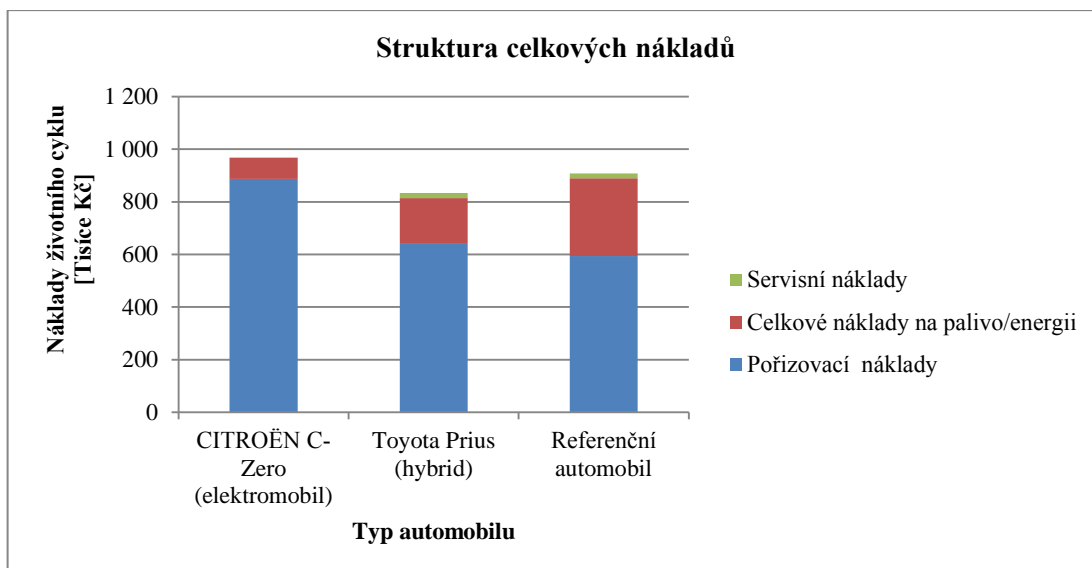
Z důvodu vysoké životnosti a zároveň vysoké ceně vestavěných baterií je pravděpodobné, že k jejich výměně nikdy nedojde. Výrobci používají zpravidla akumulátory založené na technologii Lithium-ion.

Lithium-ion technologie poskytuje vysokou kapacitu, nevyžaduje žádnou údržbu, má nízkou úroveň samovybíjení a při správném užívání mají tyto baterie i vysokou životnost. Tato technologie se běžně užívá v mobilních zařízeních, jako jsou např. mobilní telefony a notebooky. Kapacita těchto baterií se v čase postupně snižuje. Z tohoto důvodu se optimalizuje dobíjení s cílem dosáhnout maximální životnosti baterií. Z tohoto důvodu se např. nenabíjí na plnou kapacitu, což má pozitivní vliv na jejich životnost. [48]

Po 8 letech nebo po ujetí 160 000 km může docházet a časem bude docházet ke snižování kapacity vestavěných baterií a tím i ke snižování dojezdové vzdálenosti. Nemusí to být však impuls pro koupi nových baterií. Lze tedy předpokládat, že většina uživatelů nebude motivována ke koupi nových baterií.

V následující *LCC* analýze bude uvažována maximální míra využití technické životnosti baterií. Životnost baterií je stanovena na 8 roků, během kterých urazíme vzdálenost 160 000 km.

Při nezapočítání nových baterií se pohled na výhodnost elektromobilu nemění. Vzhledem k minimálním servisním nákladům a velmi nízkým nákladům na elektrickou energii stojí sice ujetý kilometr v Citroënu C-Zero **0,64 Kč**, tj. až čtyřikrát méně při srovnání s referenčním automobilem, nicméně ze struktury celkových nákladů, viz Obr. 21, se situace z hlediska nákladů životního cyklu ve prospěch elektromobilu nijak nemění.



Obr. 21: Změny ve struktuře nákladů – elektromobil a hybrid – bez výměny baterií

Pořizovací cena uvažovaného elektromobilu je natolik vysoká, že návratnosti investice do tohoto typu pohonu nebude nikdy dosaženo. Citroën C-Zero je malý městský automobil a i po odečtení baterií je jeho cena na úrovni automobilu střední nižší třídy, což vede autora práce k závěru, že elektromobil nebude ještě velmi dlouhou dobu řešením pro snížení vlastnických nákladů na provoz automobilu v celém jeho životním cyklu.

#### 4.4.1 Zhodnocení nákupu elektromobilu a hybridního automobilu

V této práci uvažovaný elektromobil je první zástupce sériově vyráběného elektromobilu prodávaného v ČR. Jeho pořizovací cena je velmi vysoká a návratnosti není dosaženo ani v případě, že se neuvažuje nákladná výměna baterií. Tento typ automobilu je určen výhradně pro jízdy na kratší vzdálenosti. Pokud by cena elektromobilů klesla, situace by se mohla změnit. Při maximálním využití potenciálu baterií by byly náklady na ujetý kilometr poloviční, oproti obdobnému automobilu spalujícího jinak velmi výhodné palivo CNG.

Elektromobil s prodlouženým dojezdem odstraňuje často vytýkanou nevýhodu elektromobilů spojenou s jejich dojezdovou vzdáleností. Krátké vzdálenosti lze urazit pomocí elektrické energie uskladněné ve vestavěných bateriích a na delší vzdálenosti vypomůže spalovací motor ve funkci generátoru elektrické energie.

Hybridní automobil Toyota Prius, při srovnání s obdobným benzínovým automobilem, nevychází z pohledu celkových nákladů nikterak špatně. Nelze

jednoznačně říci, zda investice do tohoto typu pohonu přinese výraznější úsporu nákladů či nikoliv. Není nicméně pochyb o tom, že si tento typ pohonu své zákazníky nalezne.

Na rozdíl od konvenčních typů pohonů se dobíjení baterií zpravidla provádí doma nebo např. v práci. Při takovém způsobu užití není čas potřebný pro dobití baterií nijak důležitý. Výstavba dobíjecích stanic u nás byla již zahájena [49]. Až budou dobíjecí stanice běžně dostupné, nebude majitel elektromobilu omezen nižší dojezdovou vzdáleností. Při cestách na delší vzdálenosti by v současné době mohl být problém s dobitím elektromobilu, nicméně pořizovací náklady na dobíjecí stanici nejsou nikterak vysoké a lze ji vybudovat prakticky kdekoli. Rychlonabíječka dobije elektromobil v řádu desítek minut. Pokud bude například instalována na parkovišti u supermarketu, velmi pravděpodobně se stihne elektromobil dobít na plnou kapacitu již během nákupu.

#### **Výhody:**

- tichý chod motoru;
- standardní servisní intervaly;
- pohonná jednotka nevyžaduje žádnou zvláštní údržbu;
- nízké nebo žádné emise.

#### **Nevýhody:**

- vysoké pořizovací náklady elektromobilu;
- vysoké pořizovací náklady na pořízení nových baterií.

## **5 LCC analýza přestavby automobilů**

Pokud nelze koupit nový automobil s požadovaným typem pohonu nebo je požadavek uživatele na snížení vlastnických nákladů u stávajícího automobilu, může být řešením přestavba automobilu na konkrétní typ alternativního pohonu. Obecně platí, že přestavovaný automobil musí být ve velmi dobrém technickém stavu a přestavba by měla být provedena autorizovanou společností, která může poskytnout garanci na prováděnou činnost.

### **5.1 Přestavba automobilu na bioetanol**

Podíl biosložky v konvenčních palivech stále narůstá. Benzínový motor je schopen i bez technických úprav optimální činnosti až do 10 % obsahu biosložky v benzínovém palivu [5]. Smysl přestavby automobilu na bioetanol spočívá zejména v efektivním využití paliva s vysokým obsahem biosložky. Mezi paliva s vysokým obsahem biosložky se řadí i palivo *E85*.

Benzinové automobily vyžadují pro spalování etanolu přídavnou řídicí jednotku. Tato jednotka zajišťuje validní data pro stávající řídicí jednotku, která by za normálních okolností nebyla schopna správně vyhodnotit údaje z lambda sond, což by mělo za následek rozsvícení výstražné kontrolky motoru (nebo obdobné kontrolky). Ve většině případů nejsou potřeba žádné další úpravy automobilu. Přestavba automobilu na spalování paliva *E85* je jednoduchá a pořizovací cena velmi příznivá. Jedná se o finančně nejdostupnější přestavbu na alternativní typ pohonu. Před samotnou přestavbou je zapotřebí zkontrolovat stav palivového vedení. Nepříjemností přestavby může být následná nutnost výměny palivového filtru po ujetí prvních pár set kilometrů z důvodu odbourávání usazenin z palivové nádrže. [50]

#### **5.1.1 Náklady na přestavbu**

Vstupní cena představuje zejména náklady na pořízení přídavné řídicí jednotky, které se pohybují v cenové relaci 4 500 – 7 500 Kč a její montáž. [50], [51]

Firmy zabývající se přestavbami automobilů na tento typ paliva mohou poskytovat garanci na zajištění optimální úspory provozních nákladů a snížit tak riziko nenaplnění cílů přestavby. Náklady na přestavbu automobilu, pro možnost spalování bioetanolu, v autorizovaném servisu vychází přibližně na 10 000 Kč.

### 5.1.2 Možná rizika plynoucí z přestavby automobilu na bioetanol

Velmi často se nevýhody etanolu spojují s jeho korozivními účinky a s negativními dopady na palivové vedení a jeho těsnění. Pravdou je, že automobily od výroby určené pro toto palivo mají četné protikorozní úpravy, včetně modifikací na straně palivového systému. Problém je zejména s vlastností etanolu vázat na sebe vodu, která poté může způsobovat problémy s korozí. Biopaliva jsou totiž hygroskopická, tj. pohlcují vzdušnou vlhkost [52].

V souvislosti s palivem na bázi etanolu hrozí riziko snížení životnosti palivového čerpadla. Existuje rovněž, byť spíše teoretické, riziko požáru v důsledku nevhodného palivového systému určeného pro jiný druh paliva (*BA95*), což opět souvisí s vodivostí vody. Automobily, od výroby upravené pro spalování etanolu, používají technicky odlišné palivové čerpadlo. [6], [53]

Z důvodu výše zmíněného rizika snížení životnosti palivového čerpadla se v rámci provedené *LCC* analýzy uvažuje jeho pravidelná výměna. Cena palivového čerpadla se pohybuje, v závislosti na typu automobilu, v cenové relaci cca od 2 000 Kč. V rámci této práce jsou diplomantem uvažovány náklady na palivové čerpadlo a jeho výměnu ve výši 5 000 Kč. Interval jeho výměny je stanoven diplomantem na 100 000 km.

Palivová soustava u moderních benzinových automobilů může být identická s verzí spalující bioetanol [53]. Vzhledem k již zmíněné čistící funkci paliva *E85* a jeho schopnosti odbourávat usazeniny je potřeba vyměnit palivový filtr nejpozději po 1 000 ujetých kilometrech od přestavby, aby nedošlo k jeho zanesení odbouranými nečistotami z palivové nádrže [50]. Pro přestavěné automobily může být doporučeno použití aditiv na zmírnění již zmíněných negativních vlastností etanolu a v rámci provedené *LCC* analýzy je použití aditiv započítáno.

Užívání paliva *E85* zkracuje servisní interval výměny oleje na 10 000 km, nebo jeden rok. Stejně jako v případě nafty, která se dělí na letní a zimní, se i palivo *E85* upravuje pro zimní podmínky, a to sice zvýšením poměru benzínu vůči etanolu. V zimě je tedy palivo *E85* dražší než v létě vlivem vyššího podílu benzínu. Navíc v případě problémů se zimními starty bude pravděpodobně nutné tento poměr ještě zvýšit nebo jezdit při teplotách hluboko pod bodem mrazu pouze na benzín. Palivo *E85* se nehodí pro dlouhodobé skladování, jelikož je hygroskopické a oproti konvenčním palivům se rychleji znehodnocuje.

### 5.1.3 LCC analýza přestavby automobilu na palivo E85

Oproti automobilu upraveného od výroby pro spalování bioetanolu musíme uvažovat u přestavěného automobilu některé dodatečné náklady, mezi které patří již zmíněné palivové čerpadlo, zkrácený servisní interval a aditivum.

V modelu se výše uvedené náklady, vázané na neoriginální přestavbu automobilu pro alternativní typ pohonu, počítají zvlášť, resp. servisní náklady jsou tvořeny „běžnými servisními náklady“ pro originální zástavbu a nově vzniklými „dodatečnými náklady“ pro zajištění optimální spolehlivosti dodatečně upraveného systému pohonu.

Tab. 7: Vstupní hodnoty do analýzy LCC pro přestavbu pohonu na palivo E85

Automobil	PN [Kč]	PK (celkem)	T [let]	SK [l/100km]	SA [l/100km]	CK [Kč/l]	CA [Kč/l]	Servisní interval [km]
Automobil (přestavěný na E85)	10 000	300 000	10	7,0	8,4	35,0	26,0	10 000
Automobil (před přestavbou)	0	300 000	10	7,0	0,0	35,0	26,0	15 000

Servisní náklady se stanoví dle vzorce (4), přičemž do vzorce přibude složka dodatečných nákladů (*DN*). Vzorový výpočet byl již proveden v kapitole 4.1 a pro tento typ pohonu byly vypočteny servisní náklady ve výši 54 810 Kč. Volitelné náklady se budou skládat ze dvou výměn palivového čerpadla a z nákladů na aditivum. Pro uvažovanou technickou životnost pohonu, viz Tab. 7, dosáhnou náklady na palivová čerpadla hodnoty 10 000 Kč a náklady na aditivum byly spočteny ve výši cca 5 500 Kč. Servisní náklady (*SN*) dosáhnou celkové výše 70 310 Kč, viz následující ukázka výpočtu.

$$SN = \sum (CP * t_s + CD) * PV + CPNS * FOCZ + DN = 54\,810 + 15\,500 \\ = \mathbf{70\,310\,Kč}$$

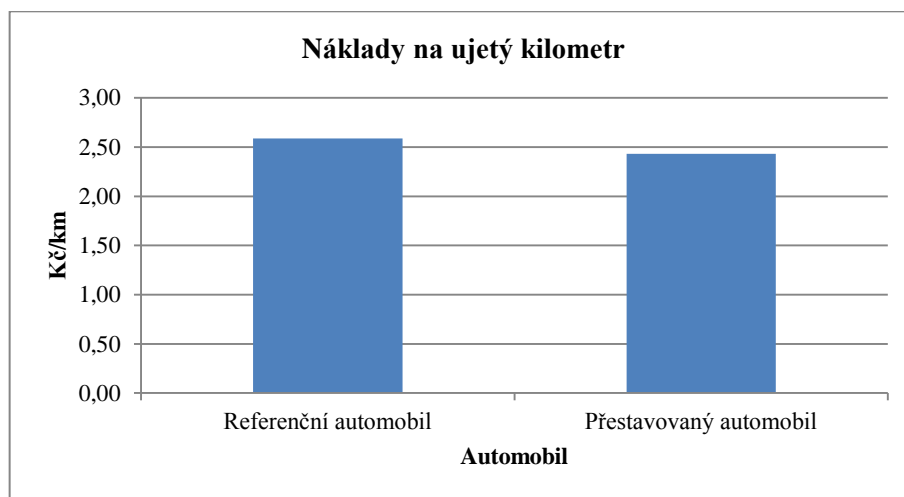
Vlastnické náklady se vypočtou dle vzorce (3), ukázka výpočtu byla již provedena v kapitole 4.1. Vlastnické náklady dosáhnou v tomto případě výše **725 710 Kč**. Následně vypočteme náklady na ujetý kilometr dle vztahu (6) a získáme cenu za ujetý kilometr ve výši **2,42 Kč**.

Pokud uvažujeme pořizovací cenu přestavby 10 000 Kč, spotřebu automobilu na palivo BA95 7 l/100km a spotřebu na palivo E85 v souladu s [50] vyšší o 20 %, uspoříme na ujetém kilometru 6,5 % nákladů. Návratnosti investice do tohoto



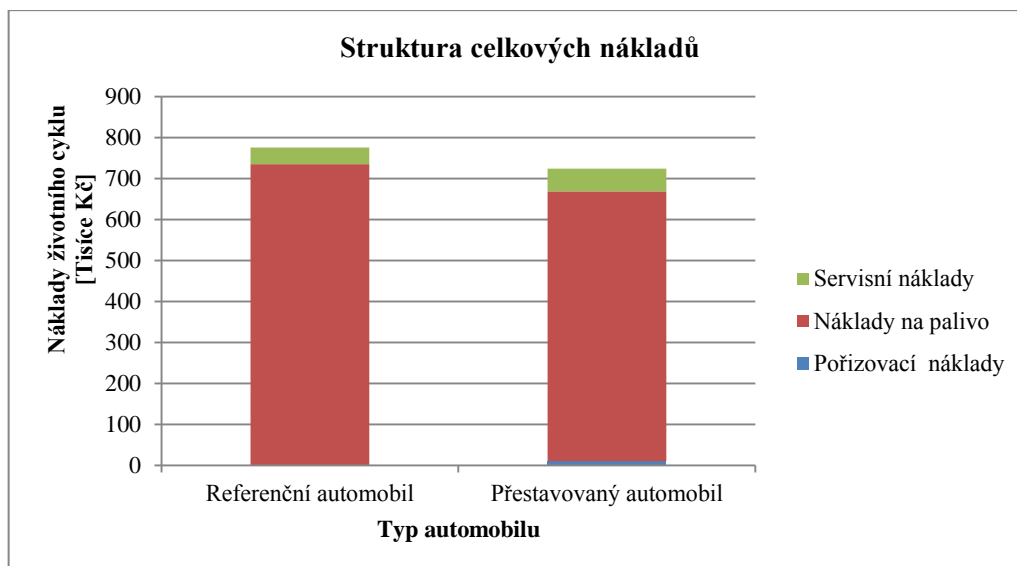
alternativního pohonu dosáhneme po ujetí **60 000 km**, tj. pro uvažovaný roční kilometrový proběh ve výši 30 000 km po 2 letech provozu. Během uvažované technické životnosti pohonu ušetříme přestavbou 41 000 Kč, což je úspora přibližně 5,3 % nákladů životního cyklu pohonu automobilu oproti referenčnímu automobilu. Výše uvedené úspory dosáhneme při výhradní jízdě na palivo *E85*. Žádné výrazné úspory nákladů životního cyklu tedy přestavbou automobilu na bioetanol nelze dosáhnout.

S ohledem na zimní období bude uvažován 95 % podíl paliva *E85* na provozu, čímž dojde k poměrně malému navýšení nákladů v rámci technické životnosti automobilu. Návratnosti bude dosaženo při **65 000 km**, tj. opět cca za 2 roky užívání a za 10 let provozu na palivo *E85* ušetříme **37 000 Kč**. Tato varianta bude uvažována za referenční při vzájemném srovnání výhodnosti přestaveb na alternativní typy pohonu. Náklady na ujetý kilometr viz Obr. 22.



Obr. 22: Přestavba - 95% podíl paliva *E85* pro přestavovaný automobil

Ze struktury celkových nákladů, viz Obr. 23, lze vyčíst navýšení servisních nákladů o přibližně 31 % oproti referenčnímu automobilu. Úspora na pohonných hmotách je ve výši cca 10 %.



Obr. 23: Přestavba – změny ve struktuře nákladů pro pohon na palivo *E85*

#### 5.1.4 Zhodnocení přestavby automobilu

Výhody přestavby na palivo *E85* pro koncového uživatele plynou zejména z jednoduchosti takové přestavby a z příznivé ceny paliva *E85*. Lokální emise jsou oproti konvenčním palivům nižší, avšak celkový dopad na životní prostředí spojený s biopalivy první generace je diskutabilní.

**Výhody** dle [50], [51]:

- nízké náklady na pořízení / jednoduchost pořízení;
- nižší lokální emise;
- vyšší oktanové číslo;
- vyšší výkon motoru;
- takto upravený automobil plní emisní normu EURO 4.

**Nevýhody** dle [50], [51]:

- nízká úspora nákladů na ujetý kilometr;
- zkrácený servisní interval výměny oleje;
- možný problém s korozivními účinky, resp. užívání aditiv;
- v zimě vyšší podíl jízdy na benzín.

## 5.2 Přestavba na palivo *LPG*

Přestavba automobilu na zkapalněný ropný plyn (*LPG*) je proces vyžadující montáž četných komponent. Vývoj systémů pro *LPG* dospěl do fáze, kdy se používá zpravidla jejich nejpokročilejší varianta. Jedná se o systém sekvenčního vstřikování *LPG*. Dřívější méně sofistikované systémy již nejsou aktuální a standardně se používá systém sekvenčního vstřikování, a to pro všechny moderní benzínové automobily včetně variant motorů s přímým vstřikováním paliva.

Systém sekvenčního vstřikování se vyznačuje tím, že trysky zajišťující dávkování plynu do válců jsou elektronicky řízeny pro každý válec zvlášť. Dávkování paliva je řízeno původní benzínovou jednotkou, která předává řídicí jednotce *LPG* údaje o délce jeho vstřiku. Zachovává se tak funkce všech senzorů, se kterými pracuje původní benzínová jednotka. Velkou výhodou použití tohoto systému je, že se spotřeba i výkon motoru při provozu na *LPG* velmi blíží provozu na benzín. Rozdíl ve výkonu motoru při jízdě na palivo *LPG* je v praxi téměř nezatelný. [6]

Systém sekvenčního vstřikování obsahuje přibližně dvacet komponent, které je nutno do vozidla zastavět. V motorovém prostoru se jedná o řídicí jednotku plynu, vstřikovač, elektromagnetický ventil, snímač *MAP*, trysku snímače tlaku, trysku vstřikovaného *LPG*, filtr plynné fáze, reduktor a spojovací materiál (hadice). Do zadní části vozidla se montuje plynová schránka a do ní nádrž na *LPG* s multiventilem. Dále je potřeba namontovat plnicí koncovku pro umožnění tankování paliva. Propojení komponent v zadní a v přední části vozidla je realizováno měděným potrubím. [54]

Přepínání mezi *LPG* a benzínem je plně automatické. Uživatel je o této skutečnosti informován příslušnou světelnou kontrolkou, popřípadě zvukovou signalizací.

Nádrže na *LPG* mohou být buď válcového tvaru, nebo toroidního tvaru. Toroidní nádrž se instaluje v prostoru jinak vyhrazeného pro rezervní kolo. Válcové nádrže mohou být velmi objemné, a to až na 230 l. V případě běžnějších toroidních nádrží mají ty největší objem až 70 l. Zpravidla postačí nádrž o objemu 45 – 60 litrů. Vzhledem k faktu, že pro dosažení dostatečného dojezdu na *LPG* postačí objem toroidní nádrže, nebude mít instalace systému *LPG* vliv na velikost využitelného přepravního prostoru osobního automobilu.

### 5.2.1 Náklady na přestavbu

V této kapitole jsou zmíněny a popsány jednotlivé komponenty včetně orientačních nákladů na jejich pořízení. Obecně se pořizovací náklady na čtyřválcový motor pohybují v intervalu od 25 000 – 30 000 Kč [55], [56]. Pro motory s přímým vstřikováním paliva je pořizovací cena sekvenčního systému *LPG* zpravidla od 35 000 Kč [56].

#### Jednotlivé komponenty systému *LPG*:

Reduktor, je zařízení, ve kterém dochází k přeměně paliva z kapalného stavu do plynného. Při tomto procesu dochází k úbytku tepla v reduktoru, který je způsoben expanzí plynu. Pro zajištění co nejlepších podmínek pro odpařování paliva se tento úbytek tepla kompenzuje ohřátou vodou z chladicího okruhu vozidla. Součástí reduktoru je membrána, která podléhá opotřebení a mění se v příslušných intervalech. [54], [57]

Cena reduktoru se pohybuje přibližně okolo 2 000 Kč a cena membrány zpravidla nepřesahuje 1 000 Kč. Autorem práce uvažovaný servisní interval výměny membrány je 60 000 km.

Multiventil zabezpečuje provozní a bezpečnostní funkce. Mezi provozní funkce patří zajištění plnění nádrže do 80 % její kapacity. Dále zajišťuje dodávku pohonné hmoty z nádrže a rovněž zajišťuje detekci stavu paliva v nádrži. Mezi bezpečnostní funkce multiventilu patří zastavení dodávky paliva při jeho nadměrném odběru. Rovněž zastavuje tok paliva při vypnutém motoru. Palivo v nádrži je pod tlakem, který roste se zvyšující se teplotou, což je důvod proč se nevyužívá celý objem nádrže. Pokud dojde z nějakého důvodu k natankování většího množství paliva a tlak v nádrži vzroste cca nad 25 barů, dojde ke snížení tlaku v nádrži upuštěním plynu. Multiventil je uzavřen vždy, pokud není automobil v daném okamžiku provozován na *LPG*. [54], [57], [58]

Jelikož je tento plyn těžší než vzduch, tak se z bezpečnostních důvodů nesmí s automobilem na *LPG* parkovat v podzemních garážích [55]. Cena multiventilu se pohybuje okolo 2 000 Kč.

Elektromagnetický ventil uzavírá plynový systém při provozu na benzín a rovněž při vypnutí zapalování. Tento ventil má dvě polohy otevřeno a zavřeno. Pokud je pod napětím, je v poloze otevřeno a pokud je bez napětí, je v poloze zavřeno. Rovněž se v jeho spodní části nachází filtr kapalně fáze, který chrání reduktor před nečistotami. [54], [57]

Cena filtrační vložky se pohybuje v cenové relaci okolo 100 Kč. Cena samotného elektromagnetického ventilu je cca 400 Kč. Autorem práce stanovený servisní interval filtru kapalně fáze je 90 000 km.

Mezi reduktorem a vstřikovači se nachází filtr plynné fáze, který podléhá rovněž pravidelným výměnám [54], [57]. Jeho cena se pohybuje kolem 400 Kč a filtrační vložka stojí cca 100 Kč. Interval výměny je zpravidla 30 000 km.

Vstřikovač *LPG* je jedna z nejdražších komponent systému *LPG*. Jeho funkcí je dávkování paliva [54]. Cena vstřikovače se pohybuje zpravidla v rozpětí 2 000 – 5 000 Kč. Garantovaná životnost je zpravidla 100 000 km nebo 2 roky.

Snímač absolutního tlaku v sacím potrubí tzv. *MAP* slouží ke sledování absolutního tlaku v sacím potrubí. Tato informace je potřebná pro výpočet délky času potřebného pro vstřik paliva. [54]

Řídící jednotka *LPG* řídí, v závislosti na přijímaných signálech z benzínové řídící jednotky, vstřikovače *LPG*. Tyto vstřikovače zajišťují dávkování paliva (plynu) do sacího potrubí motoru [55]. Zpravidla se umísťuje na vhodné místo v motorovém prostoru.

Nádrž na *LPG* slouží ke skladování paliva. Její životnost je z bezpečnostních důvodů omezena na 10 let od data výroby [55]. Cena nádrže je závislá od objemu, přičemž se ceny toroidních nádrží pohybují zpravidla mezi 3000 – 5000 Kč. Válcové nádrže mohou dosahovat podstatně větších objemů a jsou cenově výhodnější oproti toroidním nádržím. Pokud uvažujeme např. nádrž o objemu 40 l, potom náklady na toroidní provedení jsou cca 3 900 Kč, zatímco válcová nádrž stojí jen cca 2 500 Kč.

### **5.2.2 Možná rizika plynoucí z přestavby automobilu na LPG**

U automobilů v záruční době hrozí riziko ztráty záruky v případě přestavby. Z tohoto důvodu je dobré se informovat u prodejce automobilu, zdali lze vůz přestavět bez ztráty jeho záruky. Automobil uzpůsobený na *LPG* od výroby má výhodu originální zástavby. Při dodržení servisních intervalů a pokynů výrobce nelze očekávat komplikace. V případě přestavby automobilu existuje riziko negativních dopadů na životnost motoru či jeho součástí. Negativním vlivům lze čelit užíváním aditiv. Klíčovým faktorem je ovšem kvalita montáže a kvalita použitých komponent. Moderní systémy *LPG* dosahují vysoké životnosti a spolehlivosti.

Automobil na *LPG* musí být podroben pravidelným revizím, které je potřeba absolvovat po ujetí 10 000 km, nebo po uplynutí jednoho roku. Systém *LPG* musí být pravidelně kontrolován na netěsnost. Jedná se nejen o kontroly zaměřené na únik plynu, ale rovněž na úniky chladicí kapaliny ohřívající reduktor. [54], [57]

Další rizika se mohou vyskytnout na straně servisů, které nemusí automobil na *LPG* přijmout. Informovat se o možnostech lokálního servisu takto upraveného automobilu by mělo být samozřejmostí. Nutnost provádění pravidelných revizí může znamenat návštěvu servisu několikrát do roka. Běžný servisní interval je zpravidla 15 000 – 30 000 km [54]. V rámci modelu *LCC* se odvíjí počet cest do servisu na základě revizního intervalu. Automobil přestavěný na *LPG* by měl mít v nádrži vždy dostatek benzínu. Moderní systémy sekvenčního vstřikování mohou sice nouzově startovat motor na *LPG*, nicméně benzínové (palivové) čerpadlo tímto trpí a uživatel by měl na toto brát zřetel. Nevýhodou *LPG* je, že zimní směs zvyšuje spotřebu paliva z důvodu vyššího podílu propanu [59]. Zároveň je v zimním období vyšší spotřeba benzínu, z důvodu delší doby potřebné pro dosažení odpovídající teploty chladicí kapaliny.

### **5.2.3 LCC analýza přestavby automobilu na LPG**

Uvažovaná pořizovací cena systému *LPG* je 30 000 Kč včetně započítání dávkovače aditiva pro ochranu motoru v hodnotě 5 000 Kč. Pro automobil s přímým vstřikováním paliva je uvažovaná pořizovací cena 40 000 Kč rovněž se započtením dávkovače aditiva. Referenční benzínový automobil má uvažovanou spotřebu 7 l/100km a porovnáván bude s jeho přestavěnou verzí umožňující pohon na palivo *LPG*. Uvažovaná spotřeba paliva *LPG* pro přestavěný automobil je 9,2 l/100km. Z důvodu

skutečnosti, že automobil startuje vždy na benzín, jsou tyto výdaje rovněž započítány, přestože se jedná o relativně malé množství benzínu, které je takto spotřebováno. Pokud je uvažován 100% podíl paliva *LPG* na provozu znamená to, že se spotřebuje rovněž určité malé množství benzínu. Vzhledem k zimnímu období, kdy je určitá část kilometrového proběhu realizována za pomoci benzínu, zejména při teplotách pod  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , je opět uvažován 95% podíl jízdy na palivo *LPG*.

V souladu s [56] je nutné, v případě přestavby automobilu s přímým vstřikováním paliva, vstřikování benzínu po celou dobu jízdy, kvůli ochraně benzínové části automobilu. Podíl benzínu na kilometrovém proběhu automobilu je v rozsahu 10 – 30 %. Uvažovaný podíl benzínu na provozu činí pro motor s přímým vstřikováním v rámci této *LCC* analýzy 10 %.

Vstupní hodnoty do analýzy *LCC*, viz Tab. 8 a výše uvedené dodatečné náklady, budou dosazeny do vzorců (2) a (3). Náklady na ujetý kilometr se vypočtou ze vzorce (4). Návratnost investice do alternativního pohonu se spočítá pomocí vztahu (5).

Tab. 8: Vstupní hodnoty do analýzy *LCC* pro přestavbu pohonu na palivo *LPG* (var. 1)

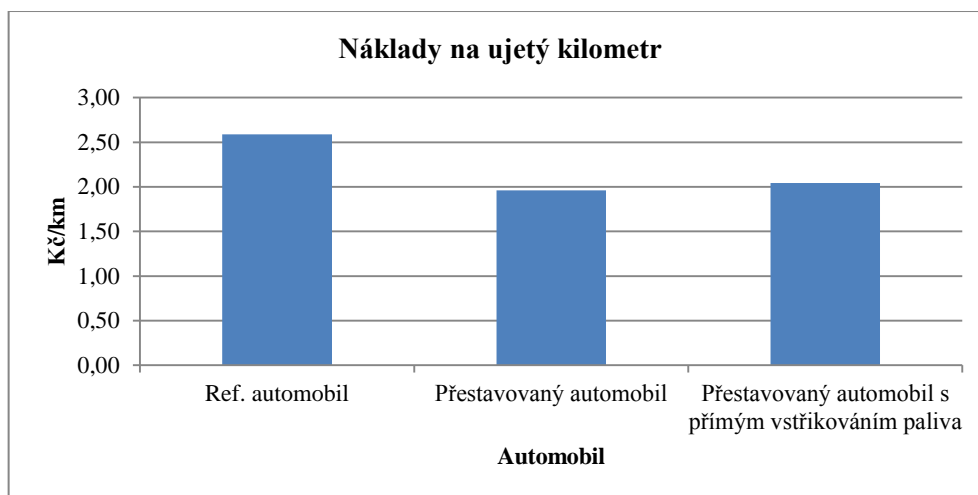
Automobil	PN [Kč]	PK (uvažovaných)	T [let]	SK [l/100km]	SA [l/100km]	CK [l/100km]	CA [Kč/l]	Servisní interval [km]
Automobil (LPG)	30 000	300 000	10	7,0	9,2	35,0	17,0	15 000
Automobil (LPG, FSI a TSI)	40 000	300 000	10	7,0	9,2	35,0	17,0	15 000
Automobil (ref.)	0	300 000	10	7,0	0,0	35,0	17,0	15 000

Vlastnické náklady se vypočtou obdobným způsobem jako v kapitole 4.2, nicméně se navíc započítávají dodatečné servisní náklady (*DN*). V případě přestavby automobilu pro pohon na *LPG* uvažuje autor práce pouze náklady na aditivum pro zajištění ochrany motoru.

Příklad výpočtu vlastnických nákladů, kde první složka představuje servisní náklady v případě originální zástavby, druhá složka vyjadřuje náklady na palivo a třetí složka je výdaj na aditivum, viz níže uvedený výpočet.

$$\begin{aligned}
VN &= SN + \frac{PA [\%]}{100} * \frac{\left(PK - T * Ss * \frac{Sb}{Sp} * 100\right)}{100} * SA * CA + \left(1 - \frac{PA[\%]}{100}\right) * \\
&\quad * \frac{\left(PK - T * Sb * \frac{Sp}{Ss} * 100\right)}{100} * SK * CK + T * Sb * Ss * CK \\
&= 77\,510 + 494\,033 + 16\,420 = \mathbf{587\,963\,Kč}
\end{aligned}$$

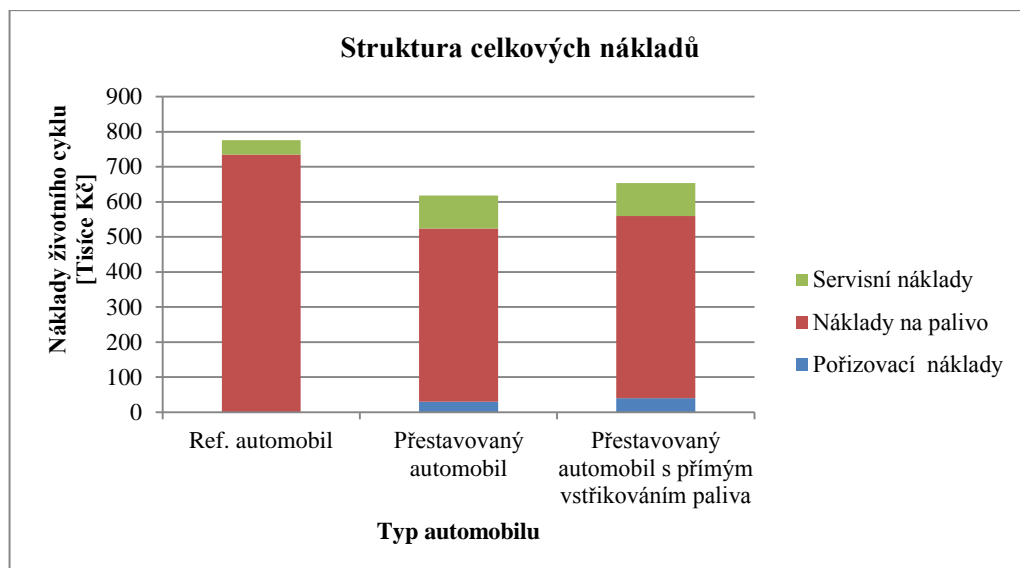
Náklady na ujetý kilometr se vypočítají dle vzorce (5) a jsou znázorněny na Obr. 24. Z těchto nákladů vyplývá návratnost v případě automobilu s nepřímým vstřikováním po ujetí cca **48 000 km**, což odpovídá cca 1,5 roku užívání a pro automobil s přímým vstřikováním se investice vrátí až po ujetí **74 000 km**, resp. po 2,5 letech provozu. Běžný automobil tak realizuje úsporu nákladů na ujetý kilometr v přibližné výši 25 %, při srovnání s referenčním automobilem. V případě přestavby automobilu s přímým vstřikováním paliva lze dosáhnout úspory nákladů na ujetý kilometr ve výši 21 %, oproti referenčnímu automobilu.



Obr. 24: Přestavba – 95% podíl jízdy na *LPG* pro přestavované automobily

Ze struktury celkových nákladů, viz Obr. 25, vyplývají poměrně vysoké servisní náklady, které jsou více než dvojnásobné oproti referenčnímu benzínovému automobilu. Vzhledem k výrazné úspoře nákladů na ujetý kilometr, při spalování *LPG* namísto benzínu, jsou náklady životního cyklu pro pohon na *LPG*, v případě běžného automobilu, nižší o více než 20 % a pro automobil s přímým vstřikováním realizujeme 16% úsporu, v porovnání s referenčním automobilem.





Obr. 25: Přestavba – změny ve struktuře nákladů pro pohon na palivo *LPG* (var. 1)

Pokud je pravidelná předpokládaná zajišťka k čerpací stanici v celkové výši 20 km (tam i zpět), je uspořeno na ujetém kilometru, v případě běžného automobilu, 21 % nákladů a v případě automobilu s přímým vstřikováním 18 % nákladů, ve srovnání s referenčním automobilem. V případě přestavby běžného benzínového motoru lze jeho přestavbou na pohon *LPG* uspořit, v rámci technické životnosti pohonu automobilu, přibližně **135 000 Kč**, resp. cca 17 % nákladů a dosáhnout tak návratnosti investice do tohoto typu pohonu po ujetí **55 000 km**, tj. pro uvažovaný roční kilometrový proběh 30 000 km za necelé 2 roky. Pro automobil s přímým vstřikováním lze dosáhnout jeho přestavbou na *LPG* úspory nákladů, během technické životnosti pohonu, ve výši cca **99 000 Kč**, resp. 12 % a návratnost je dosažena po ujetí cca **87 000 km**, čili za necelé 3 roky užívání.

Výše zmíněná analýza *LCC* byla spíše pesimističtější z pohledu spotřeby paliva *LPG*, kdy byla spotřeba *LPG* ve výši 9,2 l /100 km, což představuje nárůst spotřeby o 31 %. Jelikož je dle [34] předpokládán nárůst spotřeby pouze 10 – 15 %, bude z tohoto důvodu *LCC* analýza provedena ještě jednou, a to při spotřebě vyšší pouze o 15 %, viz Tab. 9.

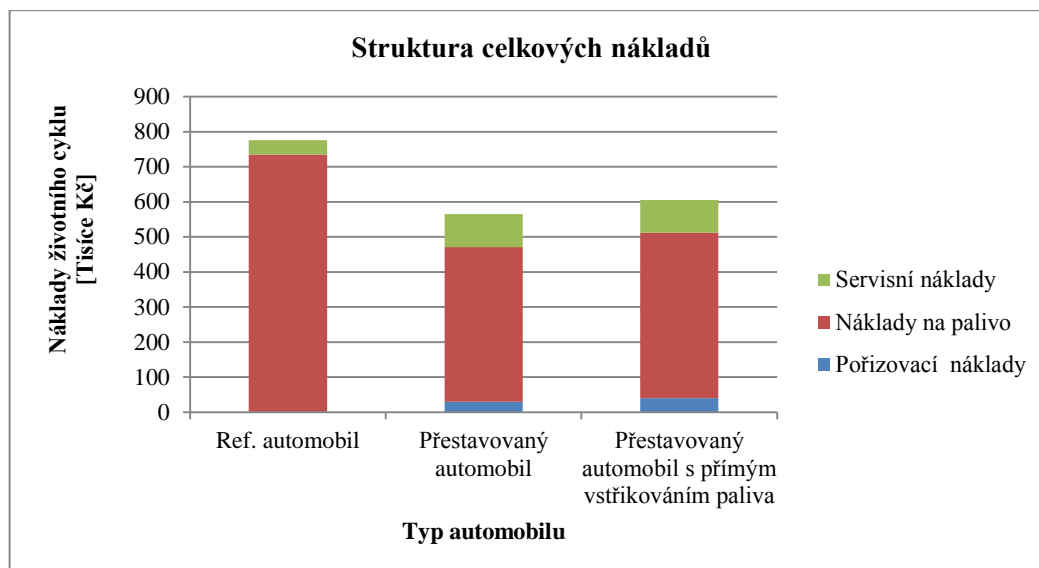
Tab. 9: Vstupní hodnoty do analýzy *LCC* pro přestavbu pohonu na palivo *LPG* (var. 2)

Automobil	PN [Kč]	PK (uvažovaných)	T [roky]	SK [l/100km]	SA [l/100km]	CK [l/100km]	CA [Kč/l]	Servisní interval [km]
Automobil (LPG)	30 000	300 000	10	7,0	8,05	35,0	17,0	15 000
Automobil (LPG, FSI a TSI)	40 000	300 000	10	7,0	8,05	35,0	17,0	15 000
Automobil (ref.)	0	300 000	10	7,0	0,0	35,0	17,0	15 000

Náklady na ujetý kilometr, během technické životnosti pohonu, jsou u běžného typu motoru sníženy, při jeho přestavbě na palivo *LPG*, o 31 %, resp. na **1,79 Kč/km**. Přestavbou motoru s přímým vstřikováním paliva na pohon *LPG* lze dosáhnout nákladů na ujetý kilometr ve výši **1,89 Kč/km**, tj. snížit tyto náklady o 27 %.

Návratnosti investice do pohonu *LPG* je u běžného automobilu možné dosáhnout po ujetí **37 000 km**, resp. za 1,5 roku při ročním kilometrovém proběhu ve výši 30 000 km. Automobil s přímým vstřikováním paliva dosáhne návratnosti investice po ujetí **57 000 km**, tj. po cca 2 letech provozu.

V případě spotřeby paliva *LPG* vyšší pouze o 15 % je možné uspořit přestavbou běžného automobilu, za dobu jeho plánované technické životnosti, přibližně **211 000 Kč** (resp. 27 % nákladů), oproti referenčnímu benzínovému automobilu. V případě automobilu s přímovstřikovým motorem je možné jeho přestavbou na *LPG* dosáhnout, během jeho plánované technické životnosti, úspory nákladů ve výši **171 000 Kč**, resp. 22 %. Struktura nákladů životního cyklu, při přestavbě na pohon *LPG*, viz Obr. 26.



Obr. 26: Přestavba – změny ve struktuře nákladů pro pohon na palivo LPG (var. 2)

#### 5.2.4 Zhodnocení přestavby automobilu na *LPG*

Přestavba moderního automobilu na *LPG* je v současné době snadno technicky realizovatelná. Montáž systému *LPG* trvá přibližně jeden den, přičemž lze zakoupit hotové sestavy, které odborně kvalifikovaný technik dle přiložené dokumentace nainstaluje do automobilu. Jelikož je systém *LPG* připojen „paralelně“ k benzínovému systému, je samozřejmě možný provoz na oba druhy paliv. Výhodou přestavby benzínového pohonu na *LPG* je prodloužení dojezdové vzdálenosti a vzhledem k provozním nákladům i poměrně rychlá návratnost investice.

**Výhody** dle [54], [55]:

- příznivá pořizovací cena;
- rychlá návratnost investice;
- výrazné snížení nákladů na palivo;
- kultivovanější chod motoru;
- plní i EURO 5;
- hustá síť čerpacích stanic oproti jiným alternativním palivům;
- zvýšení dojezdové vzdálenosti automobilu.

**Nevýhody** dle [54], [55]:

- revize po ujetí 10 000 km nebo uplynutí 1 roku;
- nelze parkovat v některých podzemních garážích;
- mírný nárůst pohotovostní hmotnosti vozidla;
- nízká životnost zapalovacích svíček;
- startování na benzín;
- není vhodné pro jízdu na krátké vzdálenosti;
- v zimě mírně vyšší spotřeba paliva v důsledku změny poměru propanu a butanu.

### **5.3 Přestavba na palivo CNG**

V případě přestavby vozidla na palivo *CNG* je potřeba se vypořádat s větší odlišností složení *CNG* od benzínu. Problém nastává s dodržением emisních limitů, a proto je nutné mít ve vozidle vhodný typ katalyzátoru. Keramické katalyzátory nejsou pro alternativní pohon na *CNG* vhodné. Běžné kovové katalyzátory jsou odolnější a pro tento druh paliva vhodnější [60].

Samotná přestavba se velmi podobá přestavbě vozidla na *LPG*. *CNG* používá odlišnou nádrž válcového tvaru (toroidní nádrž na *CNG* se nevyrábí). Rozdíl je ve způsobu plnění paliva a dále v použití vysokotlakého reduktoru.

*CNG* pracuje s velmi vysokými tlaky 20 MPa a více. Oproti oblíbeným toroidním nádržím u *LPG* se v případě nádrží pro *CNG* používají nádrže válcového tvaru montované zpravidla do zavazadlového prostoru. Využitelný zavazadlový prostor se tímto výrazněji sníží. Lze ovšem namontovat tlakovou nádobu místo klasické palivové nádrže a jezdit pouze na *CNG*. Nádrže na *CNG* mají životnost 15 let [55].

Dle [52] nelze zatím přestavovat zážehové motory s přímým vstřikováním paliva. Teoreticky se dají přestavět motory vznětové, nicméně ty nejsou schopny palivo *CNG* spalovat bez značných úprav, a proto se v praxi jejich přestavba neprovádí. [54]

#### **5.3.1 Náklady na přestavbu**

Přestavba na palivo *CNG* se pohybuje v cenovém rozmezí 40 000 – 50 000 Kč pro čtyřválcové motory. Vzhledem k obecnému doporučení k užití aditiva pro ochranu přestavěných motorů, je započten do pořizovací ceny přestavby dávkovač aditiva v hodnotě 5 000 Kč. Samotný systém pohonu na *CNG* je velmi podobný systému

pohonu na *LPG* s tím rozdílem, že palivo *CNG* je v plynném stavu a není potřeba jeho zplynování.

Důvod vyšších pořizovacích nákladů pro přestavbu pohonu na palivo *CNG* spočívá zejména v ceně palivové nádrže. Cena běžné 70 l nádrže na *CNG* je cca 15 000 Kč. Při užití jedné 70 l nádrže ujede automobil, se spotřebou *CNG* cca 5 kg/100km, necelých 250 km.

Pro zvýšení dojezdové vzdálenosti je potřeba instalovat více nádrží na *CNG* a náklady na přestavbu se tak značně zvýší. Cena vysokotlakého reduktoru je rovněž vyšší, až o tisíce, oproti reduktoru pro *LPG*. Funkce jednotlivých komponent systému *CNG* je totožná jako v případě systému *LPG*. [55]

### **5.3.2 Možná rizika plynoucí z přestavby automobilu na *CNG***

Stlačený zemní plyn je obecně považovaný za velmi bezpečné palivo, jak z pohledu odolnosti proti zápalu, tak z hlediska toxicity. Vozidla používající palivo *CNG* jsou bezpečnější, než např. automobily na benzín nebo naftu. Tlaková nádoba je velmi odolná proti mechanickému poškození a v případě úniku *CNG* dojde k jeho rychlému rozptýlení. [61]

Stejně jako v případě pohonu na *LPG*, je i zde povinnost majitele automobilu provádět jednou do roka revizi systému *CNG*. Cena revize je v hodnotě několika set korun. [62]

Vzhledem k faktu, že přestavovaný automobil nebyl určen pro pohon na palivo *CNG* je žádoucí používat aditiva na ochranu motoru. Další komplikací může být výraznější zvýšení pohotovostní hmotnosti vozidla.

### **5.3.3 LCC analýza přestavby automobilu na *CNG***

Diplomantem uvažovaná pořizovací cena přestavby je 50 000 Kč. Průběh výpočtu vlastnických nákladů bude opět velmi podobný jako v kapitole 4.3. Servisní náklady, jakožto složka vlastnických nákladů, budou rozšířeny o dodatečné náklady (*DN*), souvisejícími s užíváním aditiva pro ochranu motoru před nadměrným opotřebením. Potřebné vstupní hodnoty do *LCC* analýzy, viz Tab. 10. Náklady na aditivum byly vypočteny ve stejné výši jako v případě pohonu na *LPG*, tj. na cca 15 500 Kč v rámci plánované technické životnosti pohonu automobilu.

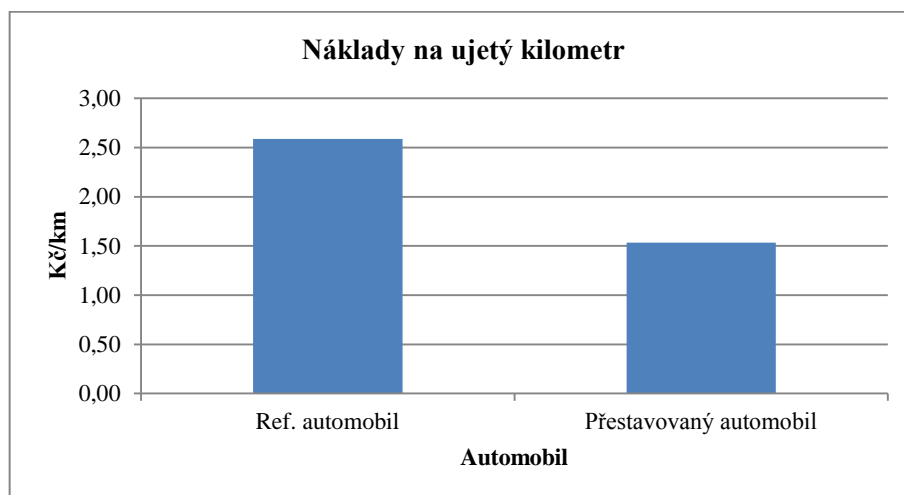
Tab. 10: Vstupní hodnoty do analýzy *LCC* pro přestavbu pohonu na palivo *CNG*

Automobil	PN [Kč]	PK (uvažovaných)	T [roky]	SK [l/100km]	SA [kg/100km]	CK [l/100km]	CA [Kč/kg]	Servisní interval [km]
Automobil (referenční)	0	300 000	10	7,0	0	35,0	25,9	15 000
Automobil ( <i>CNG</i> )	50 000	300 000	10	7,0	5,0	35,0	25,9	15 000

Ukázka zjištění vlastnických nákladů pro výhradní jízdu na palivo *CNG*, kde první složku vlastnických nákladů tvoří servisní náklady (*SN*), druhá složka vyjadřuje náklady na palivo a třetí složkou jsou dodatečné náklady, viz následující výpočet.

$$\begin{aligned}
 VN &= SN + \frac{PA [\%]}{100} * \frac{\left( PK - T * S_s * \frac{S_b}{S_p} * 100 \right)}{100} * SA * CA + \left( 1 - \frac{PA [\%]}{100} \right) * \\
 &\quad * \frac{\left( PK - T * S_s * \frac{S_b}{S_p} * 100 \right)}{100} * SK * CK + DN \\
 &= 57\,410 + 1 * \frac{300\,000 - 10 * 36 * \frac{0,2}{7} * 100}{100} * 5 * 25,9 + 0 * \dots + 15\,500 \\
 &= 57\,410 + 387\,168 + 15\,500 = \mathbf{460\,078\,Kč}
 \end{aligned}$$

Náklady na ujetý kilometr jsou následně vypočteny dle vzorce (5), a v tomto případě budou ve výši cca **1,53 Kč/km**. Dosažená úspora nákladů na ujetý kilometr je, oproti referenčnímu automobilu, ve výši 40 %, viz Obr. 27.

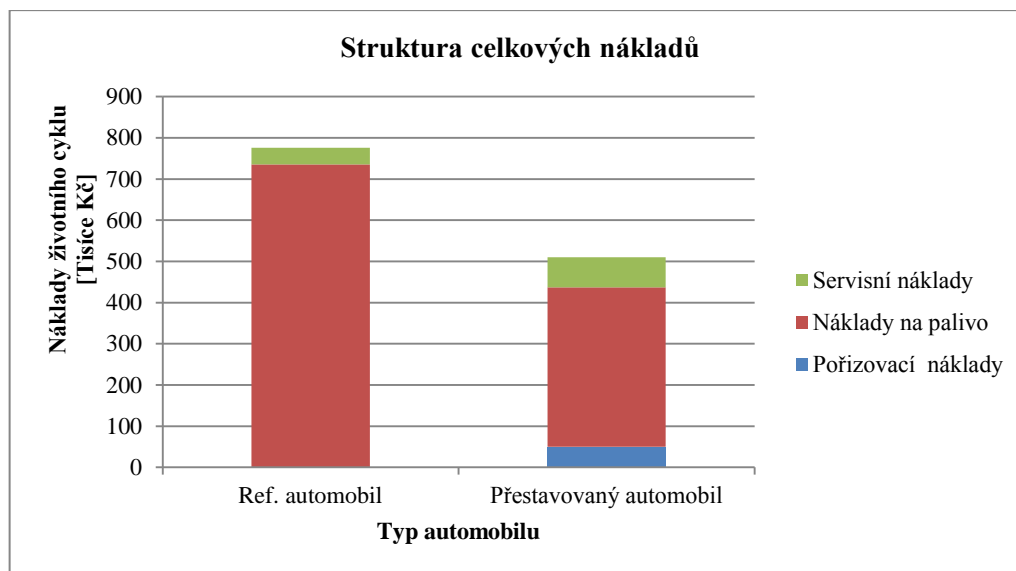


Obr. 27: Přestavba – 100% podíl paliva *CNG* pro přestavovaný automobil

Návratnost investice do alternativního pohonu na *CNG*, v minimálním potřebném kilometrovém proběhu, je získána ze vzorce (6), viz následující výpočet.

$$NI = \frac{PN_A - PN_K}{NUK_K - NUK_A} = \frac{50\,000 - 0}{2,59 - 1,53} = 47\,170 \text{ km}$$

Struktura nákladů životního cyklu pohonu na *CNG*, viz Obr. 28. Dosažená úspora nákladů, v rámci životního cyklu pohonu přestavěného na *CNG*, je **266 000 Kč** (resp. cca 35 %).



Obr. 28: Přestavba – změny ve struktuře nákladů pro pohon na palivo *CNG*

Pokud je uvažována pravidelná jízda k čerpací stanici ve výši 20 km (tam i zpět), bude ujetý kilometr s pohonem na *CNG*, v rámci jeho uvažované technické životnosti, stát **1,66 Kč** a pro původní benzínový pohon by byla cena za ujetý kilometr ve výši 2,59 Kč. Za celou dobu uvažované technické životnosti pohonu je realizována úspora nákladů ve výši **229 000 Kč** (resp. 29 %) a návratnost investice do pohonu na *CNG* bude dosažena po ujetí 54 000 km, tj. pro uvažovaný roční kilometrový proběh ve výši 30 000 km za cca 2 roky provozu.

#### 5.3.4 Zhodnocení přestavby automobilu na *CNG*

Mezi hlavní přednosti přestavby patří velmi ekonomicky a ekologicky přívětivý provoz. Systém pohonu na *CNG* je považován za velmi bezpečný. Vzhledem k faktu, že zemní plyn (metan) je lehčí než vzduch, tak se při případné havárii snadno rozptýlí. Rovněž velkou roli ohledně bezpečnosti hraje vysoká zápalná teplota, která činí 650 °C. Zásadní nevýhodou přestavby je objemná tlaková nádrž, která je zpravidla umístěná v zavazadlovém prostoru automobilu. [6]

**Výhody** dle [62]:

- velmi nízké náklady na ujetý kilometr;
- nízké emise při spalování (plní i *EURO 5*);
- nízká cena plynu;
- bezpečnost provozu;
- lepší chod motoru.

**Nevýhody** dle [62]:

- vyšší pořizovací náklady;
- oproti *LPG* je na stejný objem nádrže menší dojezdová vzdálenost;
- zpravidla objemná nádrž nebo větší počet nádrží;
- nezanedbatelný nárůst pohotovostní hmotnosti vozidla;
- nízká hustota sítě čerpacích stanic;
- úbytek výkonu motoru.

## **5.4 Přestavba na automobil poháněný elektrickou energií**

Vzhledem k velmi vysokým cenám nových elektromobilů a jejich celkově nízké dostupnosti může být pro uživatele zajímavá možnost přestavby staršího konvenčního automobilu na elektromobil. Finančně nejnáročnější položkou na celé přestavbě jsou baterie. Další důležitá část přestavby se skládá z elektronických částí. Nelze použít standardní posilovač brzd a řízení, proto je potřeba tyto komponenty vyměnit za jejich elektrické verze. Veškeré komponenty, zajišťující chod na konvenční palivo, jako je motor, palivová nádrž, převodovka apod. jsou demontovány a celková hmotnost vozidla tak může být zachována. Problém ovšem spočívá v legislativě a takto upravený automobil se nemusí podařit „zlegalizovat“ pro provoz na pozemních komunikacích.

Přestavět lze rovněž hybridní automobily. Přestavba spočívá v prodloužení dojezdové vzdálenosti elektrického pohonu přidáním výkonnějších baterií. Například v *USA* se začaly přestavovat hybridní automobily Toyota Prius navýšením kapacity baterií a zvýšením dojezdu z jednotek na desítky kilometrů. Takto upravený automobil lze nabíjet z elektrické zásuvky. [63]

Přestavby automobilů na elektrický pohon jsou dílem jednotlivců, a proto se nemá smysl tímto typem přestavby zabývat.



## 6 Zhodnocení dosažených výsledků

Kalkulátory návratnosti investic do různých typů pohonů lze běžně nalézt na internetu. Mechanismus výpočtu návratnosti investice do alternativního pohonu je zpravidla následující

$$NI = \frac{PN}{\left(\frac{SK}{100} * CK - \frac{SA}{100} * CA\right)}, \quad (7)$$

kde  $PN$  jsou náklady na pořízení,  $SK$  je údaj o spotřebě konvenčního paliva,  $CK$  je cena konvenčního paliva,  $SA$  je spotřeba alternativního paliva a  $CA$  je cena alternativního paliva. Výsledek po vypočtení vzorce (7) je minimální kilometrový proběh pro dosažení návratnosti investice. Vzorec pro výpočet návratnosti (7), který tyto kalkulátory používají, předkládá uživateli zpravidla přehnaně optimistický okamžik návratnosti investice.

Smyslem analýzy nákladů životního cyklu je co nejvěrněji vyjádřit náklady v celé technické životnosti pohonu automobilu.

Vytvořený model, za použití vývojového prostředí aplikace MS Excel, umožňuje snadnou kalkulaci nákladů životního cyklu spojených s provozem vybraného typu pohonu. Získané náklady lze porovnávat s jinými typy pohonů a vytvořit si tak lepší představu o jejich výhodnosti pro konkrétní zamýšlený způsob užití.

### 6.1 Výhodnost jednotlivých typů pohonu

V kapitole 4.1 a 5.1 jsou analyzovány náklady životního cyklu pro pohon na bioetanol. Diplomantem byly zvoleny dva nové automobily upravené pro spalování paliva E85. Z těchto dvou automobilů dokázal uspořit na vlastnických nákladech pouze jeden z nich. Vzhledem k uvažovanému nárůstu spotřeby paliva E85 ve výši 10 %, při srovnání se spotřebou konvenčního paliva, byla dosažena úspora vlastnických nákladů ve výši cca 15 %.

V případě přestavby benzínového automobilu pro pohon na bioetanol, by byla dosažena, při nárůstu spotřeby paliva E85 oproti spotřebě konvenčního paliva BA95 ve výši 10 %, úspora vlastnických nákladů ve výši necelých 13 %. Autor práce ovšem uvažoval nárůst spotřeby při jízdě na palivo E85 ve výši 20 %, oproti referenčnímu benzínovému pohonu, a úspora vlastnických nákladů byla ve výši cca 6 %. Autor práce se domnívá, že větší úspory vlastnických nákladů, než výše zmíněných 15 %, nelze

s tímto typem pohonu dosáhnout. Pohon na bioetanol ve většině případů uspořil určité finanční prostředky, nicméně autor práce se domnívá, že spíše než dosažení úspory vlastnických nákladů, je nasazení biopaliv v automobilovém průmyslu důležité pouze z hlediska snížení závislosti na ropě a užitek pro uživatele tohoto typu paliva má spíše symbolický charakter.

V kapitolách 4.2 a 5.2 se diplomant zabýval výhodností nákupu, resp. přestavby automobilu na pohon *LPG*. V případě nového automobilu, od výroby přestavěného na systém *LPG*, bylo dosaženo, oproti konvenčnímu pohonu, úspory vlastnických nákladů ve výši 27 %. Benzínový automobil dosáhl úspory vlastnických nákladů, při přestavbě na systém *LPG*, ve výši cca 25 %. Automobil s motorem s přímým vstřikováním benzínu dosáhl přestavbou na systém *LPG* úspory vlastnických nákladů ve výši 21 %. Ve všech případech bylo dosaženo poměrně vysoké úspory provozních nákladů.

V kapitole 4.3 a 5.3 analyzoval diplomant výhodnost pohonu na palivo *CNG* pro nový a dodatečně přestavěný automobil. Nový automobil s pohonem na *CNG* měl vysoké pořizovací náklady, které byly ve výši 145 000 Kč. Při porovnání s benzínovým referenčním automobilem dosáhl úspory vlastnických nákladů ve výši 173 000 Kč (resp. 31 %). Úspora vlastnických nákladů tak nebyla o moc vyšší, než samotné náklady na pořízení. Pro přestavěný automobil byla úspora vlastnických nákladů ve výši 316 000 Kč (resp. 41 %) a náklady na systém *CNG* činily 50 000 Kč. Automobil na palivo *CNG* poskytl v obou případech značnou úsporu vlastnických nákladů, ale pouze přestavěný automobil nabídl zároveň i výraznou úsporu nákladů životního cyklu pro tento typ pohonu. Výhodou od výroby přestavěného automobilu na *CNG* je zpravidla skutečnost, že uživatel není příliš omezen v možnostech jeho užití. Dodatečně přestavěný automobil na *CNG* má zpravidla omezený využitelný objem zavazadlového prostoru a uživatel tak více pocítuje fakt, že automobil nebyl určen pro tento typ pohonu a v neposlední řadě se jedná o výraznější nárůst pohotovostní hmotnosti automobilu.

Kapitoly 4.4 a 5.4 autor práce věnoval analýze nákladů životního cyklu automobilů s hybridním a elektrickým pohonem. Autorem uvažovaný elektromobil dosáhl úspory vlastnických nákladů ve výši cca 12 % (resp. 90 000 Kč), oproti referenčnímu automobilu a jeho pořizovací cena byla zároveň vyšší o 294 000 Kč (resp. 50 %).

C-Zero je automobil srovnatelný a modelem C1 téže značky. Model C1 má ve vysokém stupni výbavy pořizovací cenu cca 300 000 Kč a baterie v modelu C-Zero stojí 450 000 Kč. Autor práce se domnívá, že pořizovací cena elektromobilu C-Zero by tak měla být nižší o cca 250 000 Kč. Pokud uvažujeme k modelu C-Zero referenční automobil v podobě modelu C1, znamenalo by to v nákladech životního cyklu rozdíl ve výši cca 719 000 Kč ve prospěch modelu C1. Pokud bude automobil C-Zero nabízen za cenu cca 630 000 Kč dosáhne, při nezapočítání ceny baterií, stejných nákladů životního cyklu jako téměř identický automobil s konvenčním benzínovým pohonem. Elektromobil C-Zero je z pohledu nákladů životního cyklu pohonu automobilu zcela nevýhodný a diplomant se nedomnívá, že by bylo v blízké budoucnosti reálné, aby pořizovací náklady elektromobilů klesly na stejnou úroveň, na jaké se pohybují pořizovací náklady jejich přímých konkurentů s konvenčními pohony, neboť jedině tak lze při započtení baterií dosáhnout alespoň stejných nákladů životního cyklu jako v případě konvenčních typů pohonů.

Hybridní automobily nejsou zatíženy vysokými cenami vestavěných baterií a elektrický pohon je spíše doplňkovou záležitostí umožňující konvenčnímu spalovacímu motoru provoz za optimálních podmínek. Dosažená úspora vlastnických nákladů byla ve výši 203 000 Kč (resp. 28 %), při srovnání s referenčním typem obdobného automobilu a pořizovací cena automobilu s hybridním pohonem byla vyšší o 46 000 Kč. Autor práce se domnívá, že spotřeba deklarovaná výrobcem je příliš optimistická, nicméně je přínos hybridního pohonu na nákladech životního cyklu jasně patrný. Výrobcem udávaná spotřeba benzínu u hybridního automobilu je 3,9 l/100km, pokud je uvažovaná spotřeba vyšší, např. 5 l/100km, dosáhneme návratnosti investice do hybridního typu pohonu i za těchto podmínek, při srovnání s uvažovaným referenčním automobilem. Diplomant se domnívá, že z hlediska nákladů životního cyklu má hybridní pohon své opodstatnění a nabídne uživateli zároveň některé z výhod elektromobilů.

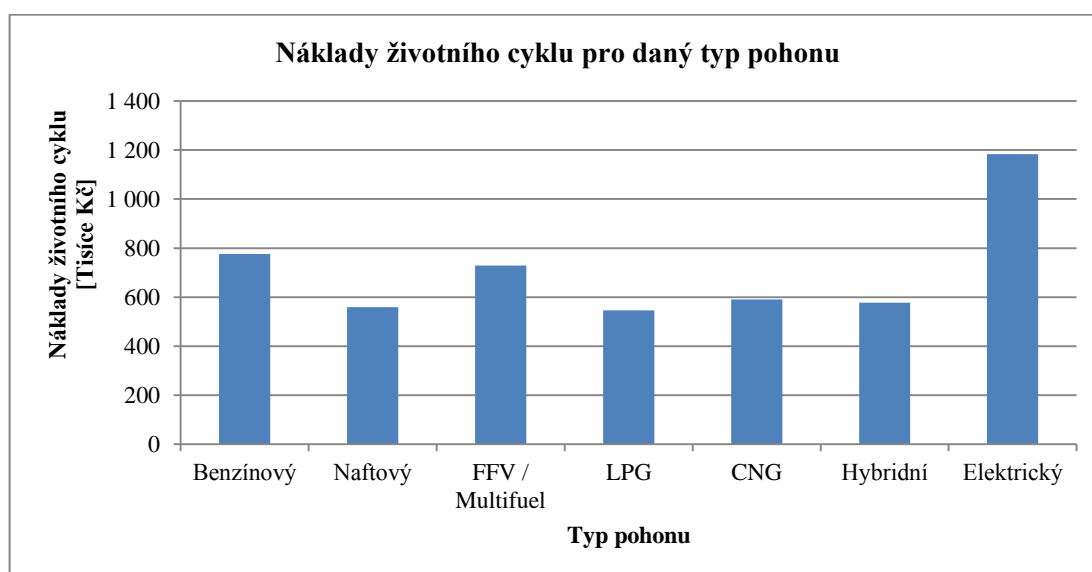
Pro potřeby vzájemného srovnání nákladů, v rámci uvažované technické životnosti jednotlivých typů pohonů, zvolil diplomant fiktivní referenční benzínový automobil. Náklady životního cyklu byly spočteny pro kilometrový proběh 300 000 km a 10 let. Pořizovací náklady (*PN*), viz Tab. 11, představují přibližné pořizovací náklady na alternativní pohon, které by musely být dodatečně vynaloženy, při srovnání s obdobným benzínovým automobilem. Diplomantem uvažované spotřeby (*SP*) jednotlivých typů

pohonu by měly přibližně odpovídat stejně výkonné motorizaci. Vlastnické náklady (VN) a výsledné náklady životního cyklu (LCC) pro jednotlivé typy pohonů, při cenách paliv (CP) resp. elektrické energie, viz Tab. 11.

Tab. 11: Vzájemné srovnání nákladů životního cyklu pro jednotlivé typy pohonů

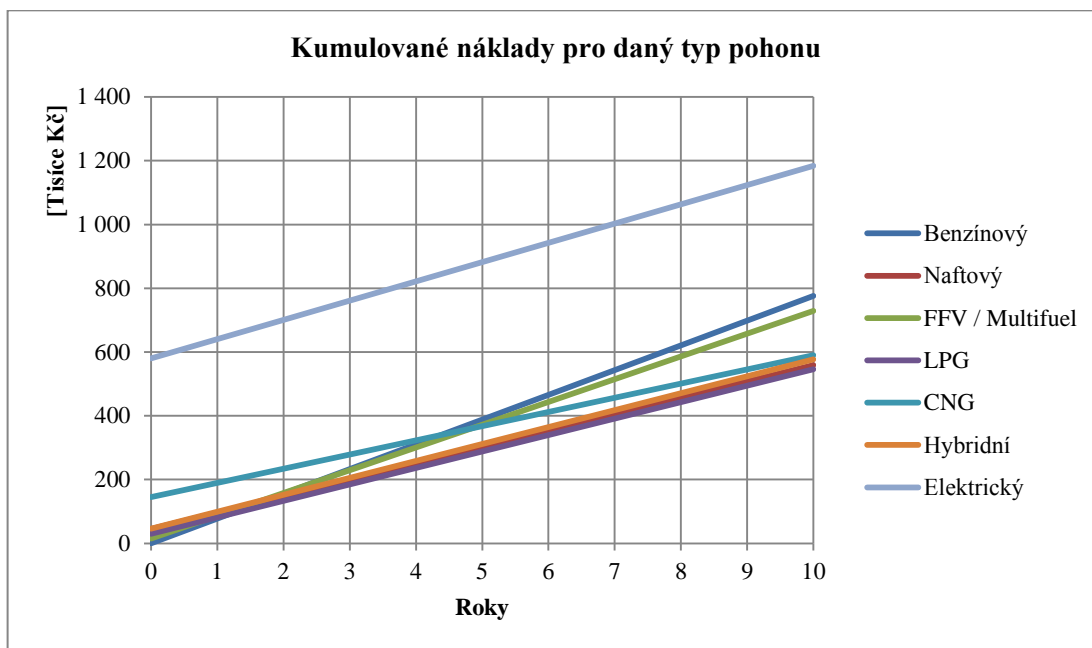
Výsledky analýzy LCC pro nový automobil s alternativním typem pohonu					
Typ pohonu	PN [Kč]	SP	CP	VN [Kč]	LCC [Kč]
Benzínový	0	7,0	35,0	776 000	<b>776 000</b>
Naftový	45 000	4,5	34,0	514 000	<b>559 000</b>
FFV / MultiFuel	15 000	8,4	26,0	714 000	<b>729 000</b>
LPG	30 000	8,0	17,0	516 000	<b>546 000</b>
CNG	145 000	5,0	25,9	445 000	<b>590 000</b>
Hybridní	46 000	3,9	35,0	531 000	<b>577 000</b>
Elektrický	580 000	13,5	4,6	604 000	<b>1 184 000</b>

Náklady životního cyklu pro jednotlivé typy pohonů automobilů, viz Obr. 29. Z tohoto obrázku je patrná vyrovnanost LCC u konvenčního naftového pohonu a uvažovaných alternativních typů pohonů. Dosažená úspora nákladů pohonu automobilu na palivo E85 není nijak výrazná a dále je patrná nevýhodnost elektromobilu z pohledu LCC.



Obr. 29: Nové automobily - náklady životního cyklu pro jednotlivé typy pohonů

Kumulované náklady po dobu technické životnosti vybraných typů pohonu, viz Obr. 30. Z kumulovaných nákladů lze vyčíst okamžik návratnosti porovnávaných typů pohonů. Během dvou let lze dosáhnout návratnosti investice do hybridního systému pohonu, do systému *LPG*, do pohonu na palivo *E85* a do naftového pohonu (konvenční pohon). Návratnost investice do pohonu na *CNG* získáme přibližně za 4,5 roku, při uvažovaném ročním kilometrovém proběhu ve výši 30 000 km. Elektromobil okamžiku návratnosti nedosáhne.



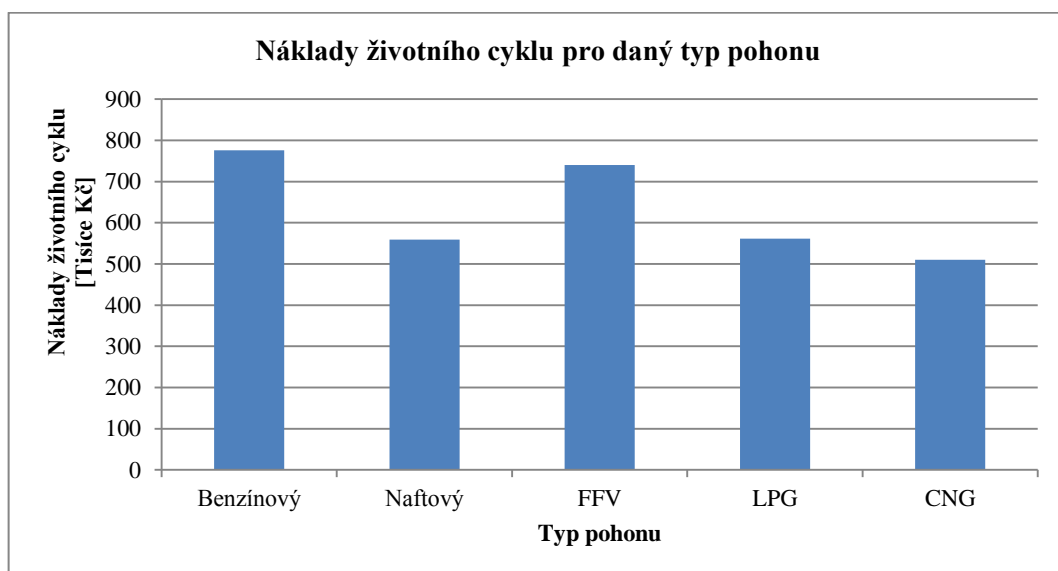
Obr. 30: Nové automobily - kumulované náklady jednotlivé typy pohonů

Obdobné srovnání výhodnosti uvažovaných typů pohonu provedl autor práce na automobilech původně určených pro pohon na benzín. Důležité informace jsou uvedeny v Tab. 12.

Tab. 12: Vzájemné srovnání nákladů životního cyklu pro přestavěné typy pohonů

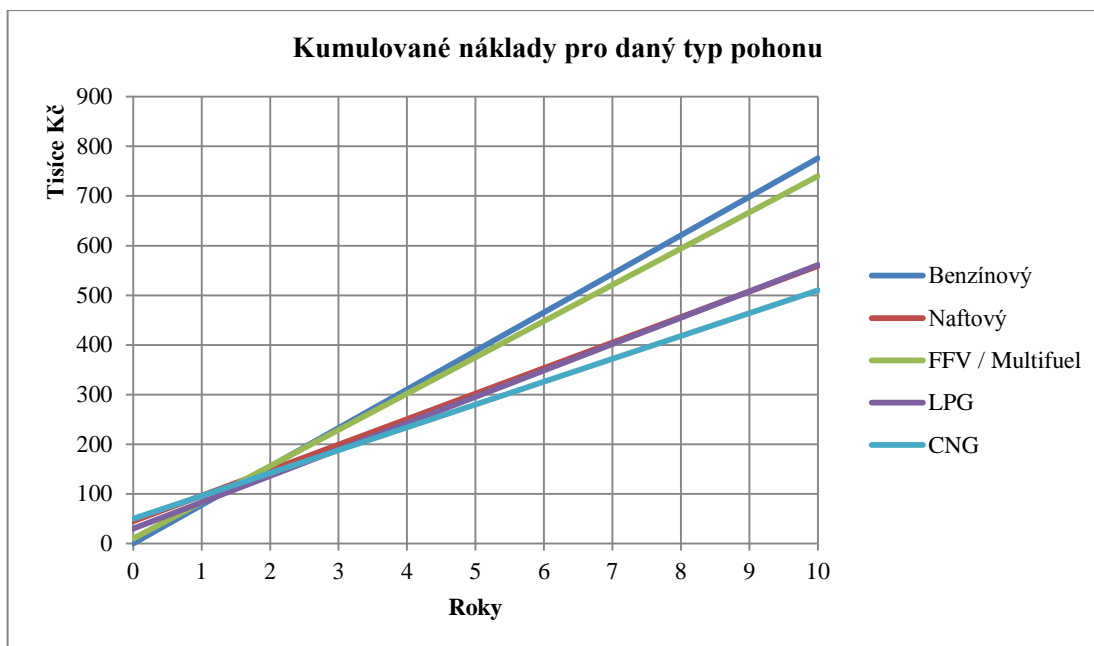
Výsledky analýzy <i>LCC</i> pro přestavbu automobilu na alternativní typ pohonu					
Typ pohonu	PN [Kč]	SP	CP	VN [Kč]	LCC [Kč]
Benzínový	0	7,0	35,0	776 000	<b>776 000</b>
Naftový	45 000	4,5	34,0	514 000	<b>559 000</b>
FFV	10 000	8,4	26,0	730 000	<b>740 000</b>
LPG	30 000	8,0	17,0	531 000	<b>561 000</b>
CNG	50 000	5,0	25,9	460 000	<b>510 000</b>

Z Obr. 31 je patrné, že výhodnost naftového typu pohonu a pohonu na *LPG* je v rámci *LCC* téměř totožná. Nejnižších nákladů životního cyklu dosáhl pohon na *CNG*, u kterého je výhodnost z hlediska *LCC* jasně patrná. Úspora nákladů během uvažované technické životnosti pohonu při přestavbě na bioetanol není opět nijak výrazná.



Obr. 31: Přestavba - náklady životního cyklu pro jednotlivé typy pohonů

Z vývoje kumulovaných nákladů, viz Obr. 32, je patrná výhodnost jednotlivých uvažovaných typů pohonů. V případě přestavby benzinového pohonu je nejvýhodnější, z hlediska *LCC*, pohon na *CNG*. Při přestavbě benzinového motoru na systém *LPG* lze získat velmi podobné náklady během uvažované technické životnosti pohonu, jako v případě konvenční naftové motorizace. Návratnosti investice do pohonu na *CNG* bude dosaženo, při uvažovaném ročním kilometrovém proběhu 30 000 km, během 1,5 roku. V podobném okamžiku bude rovněž dosaženo i návratnosti investice do naftového pohonu a do pohonu na *LPG*. Během 2,5 roku bude rovněž dosaženo návratnosti investice do pohonu na bioetanol.



Obr. 32: Přestavba - kumulované náklady pro jednotlivé typy pohonů

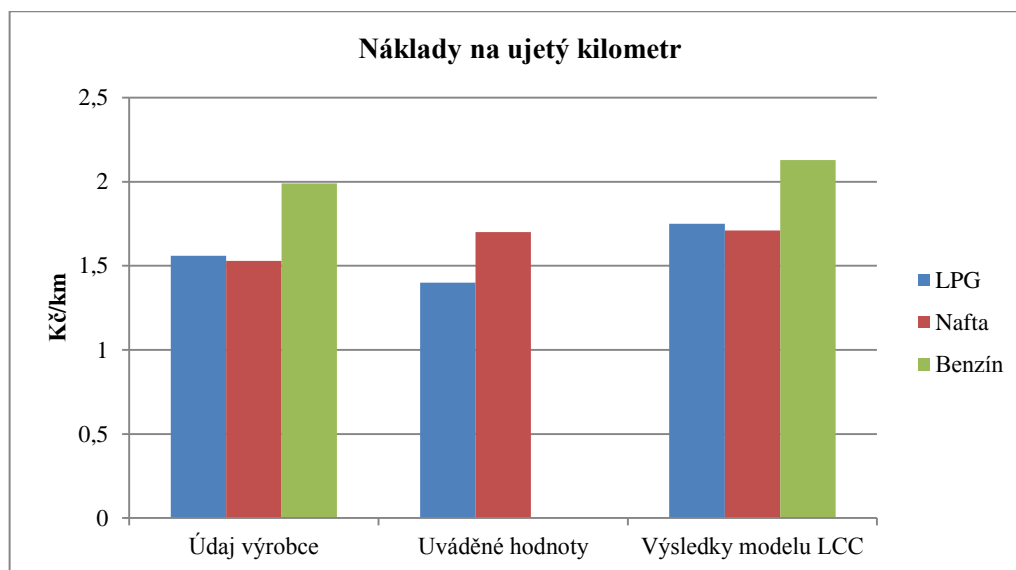
## 6.2 Porovnání výstupů modelu LCC s výsledky jiných autorů

Po srovnání výsledků modelu s testem provedeným na [64] plyne, že metodika výpočtu návratnosti investice do pohonu automobilu je zcela v souladu s výše uvedeným vzorcem (7), přičemž následuje srovnání pravděpodobně s reálným provozem. Srovnány jsou motorizace benzín, nafta a *LPG*. Autor článku uvádí spotřebu nafty 5 l/100km, což je o 0,5 l/100km více, než uvádí výrobce. Zároveň je naměřená spotřeba *LPG* o 1 l/100km nižší, než výrobcem udávaných 9,2 l/100km. Tímto autor článku dojde k výsledku, že je pohon na *LPG* výhodnější oproti naftovému pohonu, viz Obr. 33. Pokud dosadíme do modelu *LCC* optimističtější spotřebu *LPG*, tj. 8,2 l/100km a spotřebu nafty 4,5 l/100km je dosaženo v souladu s údaji výrobce horší výhodnosti pro palivo *LPG*.

Model *LCC* v obou případech započítává servisní náklady. Naftový pohon je dle modelu *LCC* výhodnější, než pohon na *LPG*. V jednoduchých kalkulacích se totiž neuvažují některé náklady, zejména skutečnost, že automobil spalující *LPG* potřebuje ke svému chodu určité množství benzínu.

V zimním období může být spotřeba benzínu relativně vysoká, zejména při jízdě na kratší vzdálenosti, kdy nemusí vůbec dojít k přepnutí pohonu na palivo *LPG*. Rovněž je potřeba zmínit skutečnost, že v zimním období je spotřeba *LPG* vzhledem ke změně poměru propanu a butanu vyšší. Dále je potřeba započítat povinné revize. Tyto položky

musí nepochybně vést k ovlivnění nákladů, v případě automobilu spalujícího jinak výhradně palivo *LPG*.



Obr. 33: Srovnání s výsledky jiných autorů - náklady na ujetý kilometr pro *LPG*

Výše uvedený příklad srovnání byl vybrán z důvodu snahy autora článku o vyjádření reálných nákladů, což přímo vybízí ke srovnání s výstupem modelu *LCC*. Do modelu *LCC* lze rovněž zahrnout náklady například na vstřikovače common rail, jejichž výměna je dle [65] při 200 000 km téměř jistá a jejich hodnota se pohybuje u automobilů střední nižší třídy kolem 25 000 Kč. Naftové motory mají nevýhodu ve finančně nákladných technologiích, mezi které mimo vstřikovačů patří například např. filtr pevných částic a dvouhmotový setrvačnick v ceně 15 000 Kč. Filtr pevných částic má dle [66] životnost cca 150 000 km a cena se pohybuje v desítkách tisíc Kč. Při uvažovaném nájezdu 300 000 km ušetříme dle modelu *LCC* v případě naftového motoru pouze 3 000 Kč, což v případě selhání některé z výše zmíněných komponent moderního naftového motoru znamená, že úspora nákladů během uvažované technické životnosti pohonu nepokryje náklady na jeho dodatečný servis.

Vytvořený model nemůže předvídat případné selhání některé z nákladných součástí naftového motoru. Rovněž jsou velké rozdíly v cenách a v životnosti jednotlivých dílů naftového motoru. Pokud je naftový motor ve svém životním cyklu považován za spolehlivý, potom stále vychází o trochu výhodněji oproti pohonu na *LPG*.

Při porovnání nákladů s úsporným benzínovým motorem lze dojít k závěru, že snižování nákladů užitím starší koncepce motoru přestavěného na *LPG* není z pohledu



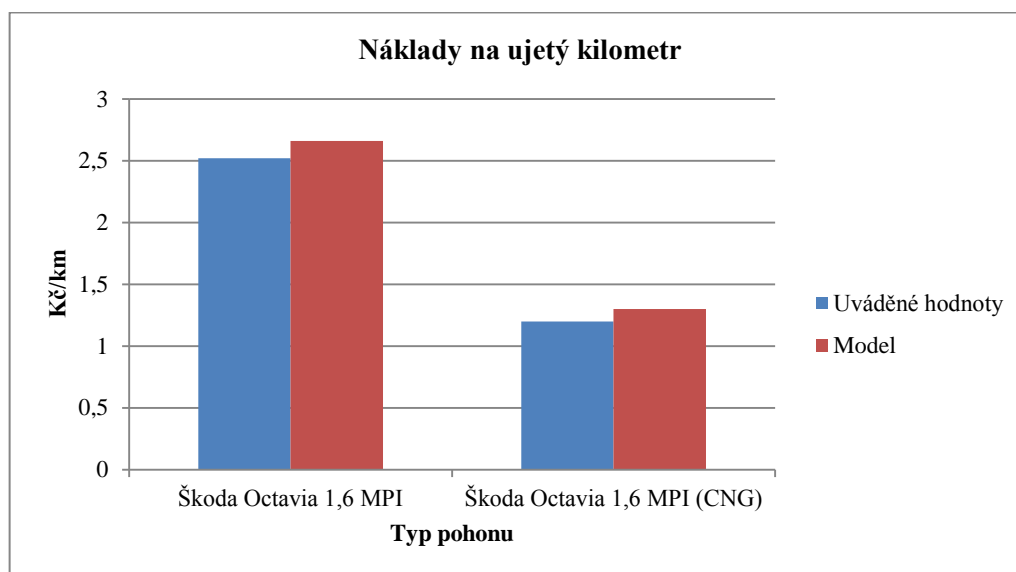
úspory nákladů příliš účinné. Dle [67] se výrobci zaměřili na zdokonalení technologie benzínových motorů a moderní benzínové motory tak dosahují výrazně nižší spotřeby paliva.

Další obdobný test dle [68] dopadl velmi obdobně jako předchozí. Opět byly porovnávány automobily Škoda Octavia v motorizacích objemu 1,6 l. Stejně jako v testu předchozím, byla uvažována spotřeba naftového motoru vyšší, a to o 1 l/100 km. Nárůst spotřeby pro naftový pohon je ve výši 22 % oproti spotřebě udávané výrobcem. Stejně jako v prvním případě je uvažovaná (resp. naměřená) spotřeba paliva *LPG* nižší, v tomto případě o 0,2 l/100 km. Oba testy z nějakého důvodu znevýhodní naftový motor a jejich závěrem je, že pohonem na *LPG* lze uspořit až desítky procent nákladů na ujetý kilometr, oproti parametrově podobné naftové verzi motoru. Není pochyb o tom, že pohonem na *LPG* lze ušetřit značné provozní náklady oproti stejné benzínové motorizaci, nicméně závěry autorů ohledně moderních benzínových a naftových motorů jsou v rozporu s vývojem jejich provozních nákladů dle [69].

Následující srovnání se bude zabývat výhodností přestavby automobilu na *CNG*. Dle [69] byla provedena přestavba automobilu Škoda Octavia Combi v motorizaci 1.6 *MPI*. Pořizovací náklady na přestavbu dosáhly výše 45 000 Kč. Autor uvádí, že k přepnutí na *CNG* dochází po splnění obdobných podmínek jako v případě *LPG*. Tato skutečnost je v rozporu s předpokladem, že v případě *CNG* není vždy rozhodující teplota chladicí kapaliny. U benzínových vozidel přestavěných na *CNG* se sice zpravidla startuje na benzín, nicméně se tak děje pouze z důvodu zachování spolehlivosti benzínové části pohonu a dochází k téměř okamžitému přepnutí na *CNG*. Při nízkých teplotách probíhá přepnutí na *CNG* za obdobných podmínek, jako v případě systému na *LPG*. Celková spotřeba benzínu by měla být v případě automobilu na *CNG* výrazně nižší.

Autor článku dále uvádí, že rozdíl mezi výkonem automobilu při spalování *CNG* místo benzínu je stěží postřehnutelný, což je ovšem pouze subjektivní pocit autora. Naměřená spotřeba během testu činila 4,3 kg/100km. Vzhledem k testované trase, která vedla spíše mimo město je autorem odhadovaná kombinovaná spotřeba 4,5 kg/100 km. Náklady na ujetý kilometr by tak činily 1 Kč. Autor článku dále odhaduje i náklady se započtením spotřeby benzínu na 1,2 Kč/km, což se shoduje s výsledky modelu, viz Obr. 34. Náklady na ujetý kilometr v případě automobilu na *CNG* jsou i dle modelu poloviční. Opět je potřeba zdůraznit, že motorizace 1,6 *MPI* je technologicky zastaralá

a tento motor je nahrazen motorizací 1,2 *TSI* s kombinovanou spotřebou 5,7 l/100km a dosahuje tak nákladů ve výši 2,13 Kč/km, nicméně i tak lze realizovat automobilem se starším typem motoru přestavěného na *CNG* výraznou úsporu nákladů.



Obr. 34: Srovnání s výsledky jiných autorů - náklady na ujetý kilometr pro *CNG*

Hybridní automobil Toyota Prius dosahoval dle [70] velmi dobrých provozních nákladů. Autorovi článku se nicméně nepodařilo dosáhnout výrobcem deklarované spotřeby ve výši 3,9 l/100km. Naměřená spotřeba během testu činila 5,4 l/100km. Po dosažení této spotřeby do modelu získáme cenu za ujetý kilometr ve výši 2,3 Kč. Přednosti hybridního pohonu se projeví zejména v městském režimu a v kolonách.

S elektromobily není zatím příliš mnoho praktických zkušeností. V testu [71] bylo dosaženo standardních dojezdových vzdáleností pro tento typ automobilu, tj. kolem 100 km na jedno nabití. Pro městský provoz zcela ideální automobil, nicméně vysoká pořizovací cena elektromobilů brání jejich masovému rozšíření.

## Závěr

Tématem této diplomové práce byla analýza výhodnosti alternativních typů pohonu využívaných v automobilech. Pro provedení analýzy bylo zapotřebí navrhnout a vytvořit vhodný model nákladů životního cyklu pohonu automobilu. Diplomant si zvolil pro realizaci modelu vývojové prostředí aplikace *MS Excel*.

Diplomová práce je rozdělena na tři části. První se zabývá základní charakteristikou uvažovaných alternativních typů pohonů a tvorbou modelu. Ve druhé části následuje vlastní aplikace modelu. Závěrečná část práce je věnována hodnocení dosažených výsledků modelu.

První část práce je věnována představení uvažovaných alternativních paliv. Následuje představení základních pravidel při tvorbě modelu nákladů životního cyklu a dále je rozpracována metodika, dle které se následně postupuje při tvorbě modelu *LCC*. Vytvořený model je popsán a představen v samostatné kapitole.

Následně je analyzován současný stav na trhu automobilů s instalovaným alternativním typem pohonu a představení diplomantem vybraných automobilů, u kterých je provedena analýza nákladů životního cyklu. Následuje zhodnocení výstupů modelu pro nové automobily s alternativním typem pohonu a jejich porovnání s referenčním automobilem. Součástí analýzy nákladů životního cyklu je rovněž kvalitativní popis případných omezení resp. skutečností, které nelze postihnout vytvořeným modelem a jež jsou důležité z hlediska rozhodování.

Vzhledem k malé nabídce nových automobilů, upravených pro spalování alternativních typů paliv, je další část práce věnována představám automobilů na alternativní systémy pohonu. Vždy je uveden popis přestavby a následně je provedena analýza nákladů životního cyklu automobilu resp. jeho pohonné části a zhodnocení případné investice. Součástí *LCC* analýzy přestavovaných vozidel je rovněž zhodnocení případných rizik spojených s úpravou stávajícího pohonu automobilu.

Mezi nejvýznamnější faktory z pohledu nákladů životního cyklu jednotlivých typů pohonu patří přepokládaný roční nájezd, plánovaná životnost automobilu a ceny pohonných hmot. Mezi další položky, které významně ovlivňují náklady životního cyklu, patří očekávaný podíl alternativního paliva resp. pohonu na celkovém nájezdu a náklady související se zajištěním paliva. V případě hybridních automobilů

a elektromobilů mohou mít velký podíl na nákladech životního cyklu pohonu případné výměny vestavěných baterií.

Závěrečná část práce je rozdělena na dvě části. První část je věnována zhodnocení dosažených výsledků a čerpá z kapitol zabývajících se analýzou nákladů životního cyklu alternativních typů pohonu pro nové a přestavěné automobily. Ve druhé části diplomant porovnává výstupy modelu s výsledky jiných autorů. Model při tomto srovnání prokázal schopnost podávat věrohodné výsledky, dle kterých si lze snadno udělat představu o nákladech životního cyklu jednotlivých typů pohonu.

Diplomantem vytvořený model *LCC* lze snadno rozšířit o další nákladové položky, jako např. náklady na pojištění automobilu a v neposlední řadě o všechny komponenty automobilu podléhající pravidelným výměnám a získat tak náklady životního cyklu celého automobilu.

## Zdroje

- [1] *Management spolehlivosti - Část 3-3: Pokyn k použití - Analýza nákladů životního cyklu. ČSN EN 60300-3-3 (010690).* 2005. Český normalizační institut.
- [2] PAVLŮSEK, Ondřej. *Český trh v roce 2010: Benzin vs. nafta u jednotlivých značek | auto.cz* [online]. 2011-2-1 [cit. 2011-11-17]. Český trh v roce 2010: Benzin vs. nafta u jednotlivých značek. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/cesky-trh-v-roce-2010-benzin-vs-nafta-u-jednotlivych-znacek-54218>>.
- [3] SMRČKA, Vít. *PROFIT - Evropská unie podporuje nástup alternativních paliv* [online]. 2002-10-20 [cit. 2011-03-15]. Evropská unie podporuje nástup alternativních paliv. Dostupné z WWW: <<http://www.profit.cz/clanek/evropska-unie-podporuje-nastup-alternativnich-paliv/>>.
- [4] PETR, Miroslav. *Úspora pro motoristy: Benzin a nafta mají konkurenci - plyn a líh | byznys.ihned.cz - Zpravodajství* [online]. 2009-11-23 [cit. 2011-03-15]. Úspora pro motoristy: Benzin a nafta mají konkurenci - plyn a líh. Dostupné z WWW: <<http://byznys.ihned.cz/c1-39167790-benzin-a-nafta-maji-konkurenci-plyn-a-lih>>.
- [5] *Alternativní paliva v dopravě - Ministerstvo životního prostředí* [online]. c2011 [cit. 2011-03-20]. Alternativní paliva v dopravě. Dostupné z WWW: <[http://www.mzp.cz/cz/alternativni\\_paliva\\_doprave](http://www.mzp.cz/cz/alternativni_paliva_doprave)>.
- [6] ŠEBOR, Gustav; POSPÍŠIL, Milan; ŽÁKOVEC, Jan. *Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě: 1. část* [online]. Vyd. 1. Praha: [s.n.], 2006 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <[http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoekonomicka\\_analyza\\_vhodnych\\_alternativnich\\_paliv\\_v\\_dopravecast\\_1.pdf](http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoekonomicka_analyza_vhodnych_alternativnich_paliv_v_dopravecast_1.pdf)>.
- [7] DIVIŠ, Josef. *Historie - Biopaliva frčí - Biopaliva frčí* [online]. c2011 [cit. 2011-05-06]. Historie. Dostupné z WWW: <<http://biopalivafrci.cz/co-jsou-to-biopaliva/historie/>>.
- [8] ČERMÁKOVÁ, Martina. *Co je biomasa a jak se s ní topí. Manuál nejen pro Kateřinu Jacques - iDNES.cz* [online]. 2009-04-08 [cit. 2011-05-16]. Co je biomasa a jak se s ní topí. Manuál nejen pro Kateřinu Jacques. Dostupné z WWW: <<http://hobby.idnes.cz/co-je-biomasa-a-jak-se-s-ni-topi-manual-nejen->

pro-katerinu-jacques-pww-/hobby-domov.aspx?c=A090407\_171941\_hobby-domov\_mce>.

- [9] *Spotřeba příměsí do bionafty v pololetí přesáhla 105.000 tun - FinančníNoviny.cz* [online]. 2011-08-04 [cit. 2011-09-06]. Spotřeba příměsí do bionafty v pololetí přesáhla 105.000 tun. Dostupné z WWW: <<http://www.financninoviny.cz/benzin/zpravy/spotreba-primesi-do-bionafty-v-pololeti-presahla-105-000-tun/670725>>.
- [10] *Podíl biosložky v benzínu a naftě vzroste. Od června, schválili poslanci | byznys.ihned.cz - Zpravodajství* [online]. 2010-03-17 [cit. 2011-04-26]. Podíl biosložky v benzínu a naftě vzroste. Od června, schválili poslanci. Dostupné z WWW: <<http://byznys.ihned.cz/zpravodajstvi-cesko/c1-41435430-podil-bioslozky-v-benzinu-a-nafte-vzroste-od-cervna-schvalili-poslanci>>.
- [11] HORČÍK, Jan. *Počet čerpacích stanic na ethanol v USA roste | Hybrid.cz* [online]. 2007-05-09 [cit. 2011-05-16]. Počet čerpacích stanic na ethanol v USA roste. Dostupné z WWW: < <http://www.hybrid.cz/novinky/pocet-cerpacich-stanic-na-ethanol-v-usa-roste>>.
- [12] MIKEŠ, Lubor. *Svět ropy - Petrol.CZ* [online]. 2006-08-22 [cit. 2011-10-27]. Historie a budoucnost LPG. Dostupné z WWW: <<http://www.petrol.cz/ropa/clanek.asp?id=7453>>.
- [13] *Označení vozidel poháněných plynem LPG či CNG* [online]. c2011 [vid. 2011-05-16]. Označení vozidel poháněných plynem. Dostupné z WWW: < <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/povinne-oznaceni-vozidel-s-pohonem-lpg-cng-plyn.htm>>.
- [14] *Z historie plynu v dopravě - Historie - Vše o CNG - CNG* [online]. c2011 [cit. 2011-04-26]. Z historie plynu v dopravě. Dostupné z WWW: <<http://www.cng.cz/cs/historie-130/>>.
- [15] *Alternativa budoucnosti - Petrol.CZ* [online]. 2011-08-21 [cit. 2011-09-06]. Nejrychleji rostoucí alternativa. Dostupné z WWW: <<http://www.petrol.cz/alternativa/clanek.asp?id=15486>>.
- [16] KUSALA, J. *3pól - Pradědeček elektromotor* [online]. 2011-10-11 [cit. 2011-11-17]. Pradědeček elektromotor. Dostupné z WWW: <<http://3pol.cz/1135-pradedecek-elektromotor>>.
- [17] RAKOVAN, Filip. *Elektromobil Peugeot iOn - První jízda | Autoweb.cz* [online]. Elektromobil Peugeot iOn. 2011-11-11 [cit. 2011-11-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.autoweb.cz/elektromobil-peugeot-ion/>>.

- [18] *Jaký je dojezd elektromobilu v zimě ? | dřevostavby Vysočina 3energy* [online]. c2010 [cit. 2011-12-23]. Jaký je dojezd elektromobilu v zimě?. Dostupné z WWW: <[http://www.3energy.cz/jaky-je-dojezd-elektromobilu-v-zime-a7http://www.autoweek.cz/cs-aktuality-elektromobil\\_v\\_zime-1683](http://www.3energy.cz/jaky-je-dojezd-elektromobilu-v-zime-a7http://www.autoweek.cz/cs-aktuality-elektromobil_v_zime-1683)>.
- [19] ORČÍK, Jan. *Co to je Hybridní automobil | Hybrid.cz* [online]. 2006-12-12 [cit. 2011-11-23]. Hybridní automobil. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/slovnicek/hybridni-automobil>>.
- [20] FUCHS, Pavel. *VYUŽITÍ SPOLEHLIVOSTI V PROVOZNÍ PRAXI*. 2002. Liberec.
- [21] ŠIMEK, Jan. *Energetické akcie by neměly chybět žádnému investorovi - iDNES.cz* [online]. 2009-01-05 [cit. 2012-04-10]. Energetické akcie by neměly chybět žádnému investorovi. Dostupné z WWW: <[http://finance.idnes.cz/energeticke-akcie-by-nemely-chybet-zadnemu-investorovi-piy-inv.aspx?c=A081217\\_222101\\_inv\\_hla](http://finance.idnes.cz/energeticke-akcie-by-nemely-chybet-zadnemu-investorovi-piy-inv.aspx?c=A081217_222101_inv_hla)>.
- [22] *Daně - Ekonomika – CNG* [online]. c2011 [cit. 2011-05-16]. Daně. Dostupné z WWW: <<http://www.cng.cz/cs/dane/>>.
- [23] *Arktické, mrazové, ledové, letní a trop. dny* [online]. 1999 [cit. 2011-10-27]. Arktické, ledové, mrazové, letní a tropické dny v období 1991-1998. Dostupné z WWW: <<http://www.amet.cz/klima/dny91-98.htm>>.
- [24] KALINA, Jiří. *Podrobné údaje o teplotě* [online]. c2006 [cit. 2011-10-27]. Podrobné údaje o teplotě. Dostupné z WWW: <<http://meteo-jirkalina.com/wx21.php>>.
- [25] SOUKUP, Petr. *Vše o CNG (3) - Auta dostupná v ČR | Hybrid.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-05-06]. Vše o CNG (3) - Auta dostupná v ČR. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/clanky/vse-o-cng-3-auta-dostupna-v-cr>>.
- [26] *Toyota bude od příštího roku nabízet sedmimístný Prius+ : Zákřuta.cz* [online]. 2011-03-02 [cit. 2011-06-03]. Toyota bude od příštího roku nabízet sedmimístný Prius+. Dostupné z WWW: <<http://www.zakruta.cz/magazin/rady-tipy-recenze/6306/toyota-bude-od-pristihho-roku-nabizet-sedmimistny-prius/>>.
- [27] PAVLŮSEK, Ondřej. *Elektromobil Citroën C-Zero na českém trhu: Cena 739.900,- Kč bez DPH | auto.cz* [online]. 2011-04-06 [cit. 2011-09-10]. Elektromobil Citroën C-Zero na českém trhu: Cena 739.900,- Kč bez DPH. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/citroen-900-c-zero-ceskem-trhu-cena-739-kc-dph-57696>>.

- [28] POHANKA, Tomáš. *Octavia na bioetanol za příplatek 5500 Kč | Týden.cz* [online]. 2009-06-16 [cit. 2011-03-20]. Octavia na bioetanol za příplatek 5500 Kč. Dostupné z WWW: <[http://www.tyden.cz/rubriky/auta/zelena-stop/octavia-na-bioetanol-za-priplatek-5500-kc\\_124762.html](http://www.tyden.cz/rubriky/auta/zelena-stop/octavia-na-bioetanol-za-priplatek-5500-kc_124762.html)>.
- [29] ŠKODA Octavia: *NÁVOD K OBSLUZE* [online]. 2011. Dostupné z WWW: <[https://mediaportal.skoda-auto.com/resource/documentation/manuals/cz/Octavia/05-2011/Manual/A5\\_Octavia\\_OwnersManual.pdf](https://mediaportal.skoda-auto.com/resource/documentation/manuals/cz/Octavia/05-2011/Manual/A5_Octavia_OwnersManual.pdf)>.
- [30] *FordMondeo: Návod k obsluze pro vlastníky*. 2009. Dostupné z WWW: <[https://www.fordoriginalnidily.cz/manualy/mondeo\\_2009/index.html](https://www.fordoriginalnidily.cz/manualy/mondeo_2009/index.html)>.
- [31] ŽÁK, Dalibor. *Ford Mondeo 2.0 Duratec FlexiFuel - První jízda | Autoweb.cz* [online]. 2011-08-03 [cit. 2011-06-05]. Ford Mondeo 2.0 Duratec FlexiFuel. Dostupné z WWW: <<http://www.autoweb.cz/ford-mondeo-20-duratec-flexifuel/>>.
- [32] BERAN, Ota. *Biom :: Ota Beran : Zkušenosti z USA – cesta k rychlejšímu rozšíření biopaliva E85? : Biom.cz* [online]. 2011-02-23, 2011-02-27 [cit. 2011-04-26]. Zkušenosti z USA – cesta k rychlejšímu rozšíření biopaliva E85?. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-z-usa-cesta-k-rychlejsimu-rozsireni-biopaliva-e85>>.
- [33] ŠIKL, Petr. *Škoda Octavia 1.6 MPI - nově na LPG* [online]. 2009-09-07 [cit. 2011-03-15]. Škoda Octavia 1.6 MPI - nově na LPG. Dostupné z WWW: <<http://www.tipcars.com/magazin-skoda-octavia-16-mpi-nove-na-lpg-4266.html>>.
- [34] ŠKODA Octavia: *Dodatek - vozidla s pohonem na LPG* [online]. 2011. Dostupné z WWW: <[https://mediaportal.skoda-auto.com/resource/documentation/manuals/cz/Octavia/11-2010/Manual/A5\\_Octavia\\_LPG\\_Supplement.pdf](https://mediaportal.skoda-auto.com/resource/documentation/manuals/cz/Octavia/11-2010/Manual/A5_Octavia_LPG_Supplement.pdf)>.
- [35] ROŠKANIN, Michal; PLATILOVÁ, Gabriela. *Kam kráčí LPG? : Rozvoj LPG v Česku stagnuje. PETROLmagazín* [online]. 2009, PETROLmagazín 2/2009, [cit. 2011-10-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.petrol.cz/magazin/pm022009/PM%20092%20ALT.pdf>>.
- [36] *Fiat Panda: Panda Natural Power* [online]. 2010. Dostupné z WWW: <[http://aftersales.fiat.com/ELUM/main.aspx?page=Fiat\\_169\\_PANDA\\_Natural\\_Power\\_603.97.661CZ\\_Panda\\_2ed\\_09\\_2010&nodeID=169108010&languageID=](http://aftersales.fiat.com/ELUM/main.aspx?page=Fiat_169_PANDA_Natural_Power_603.97.661CZ_Panda_2ed_09_2010&nodeID=169108010&languageID=)



- 8&markID=1&modelID=2000044&tipologiaID=169108902&menutipologiaID=169108913&annoID=2011>.
- [37] *Fiat Panda: Použití a údržba* [online]. 2010. Dostupné z WWW: <[http://aftersales.fiat.com/ELUM/main.aspx?page=Fiat\\_169\\_PANDA\\_Natural\\_Power\\_603.97.661CZ\\_Panda\\_2ed\\_09\\_2010&nodeID=169108010&languageID=8&markID=1&modelID=2000044&tipologiaID=169108902&menutipologiaID=169108913&annoID=2011](http://aftersales.fiat.com/ELUM/main.aspx?page=Fiat_169_PANDA_Natural_Power_603.97.661CZ_Panda_2ed_09_2010&nodeID=169108010&languageID=8&markID=1&modelID=2000044&tipologiaID=169108902&menutipologiaID=169108913&annoID=2011)>.
- [38] NOVOTNÝ, Tomáš. *CNG: Kolik stojí přestavba vozu? Vyplatí se?* | *Nazeleno.cz*. 2010-01-13 [cit. 2011-11-23]. CNG: Kolik stojí přestavba vozu? Vyplatí se?. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/technologie-1/lpg-a-cng/cng-kolik-stoji-prestavba-vozu-vyplati-se.aspx>>.
- [39] *Ekonomika provozu na CNG* [online]. c2011 [cit. 2011-06-21]. Spočítejte si, kolik ušetříte na provozních nákladech s CNG vozidly!. Dostupné z WWW: <<http://bus.tedom.cz/kalkulator-uspory-cng-diesel-nafta.html>>.
- [40] *CNG autobus? Přečtěte si mýty a fakta - iDNES.cz* [online]. 2011-11-2 [cit. 2011-11-17]. CNG autobus? Přečtěte si mýty a fakta. Dostupné z WWW: <[http://sdeleni.idnes.cz/cng-autobus-prectete-si-myty-a-fakta-dbh-/zpr\\_sdeleni.aspx?c=A111026\\_131437\\_zpr\\_sdeleni\\_ahr](http://sdeleni.idnes.cz/cng-autobus-prectete-si-myty-a-fakta-dbh-/zpr_sdeleni.aspx?c=A111026_131437_zpr_sdeleni_ahr)>.
- [41] Krpálek, Pavel. *Srovnávací studie alternativního pohonu autobusů* [online]. 2009. Dostupné z WWW: <[http://cs-dopravak.cz/soubory/studie\\_mlada\\_boleslav.pdf](http://cs-dopravak.cz/soubory/studie_mlada_boleslav.pdf)>.
- [42] DUCHOŇ, Jiří. *Chevrolet Volt: konečně podrobně - AutoRevue.cz* [online]. 2010-10-13 [cit. 2011-09-20]. Chevrolet Volt: konečně podrobně. Dostupné z WWW: <<http://www.autorevue.cz/chevrolet-volt-konecne-podrobne>>.
- [43] *CITROËN C-ZERO: TECHNICKÉ PARAMETRY* [online]. 2011. Dostupné z WWW: <[http://www.citroen.cz/Resources/Content//CZ/07\\_PDF\\_gallery/04\\_techparam\\_VP/Technicke\\_parametry\\_Citroen\\_C-Zero.pdf](http://www.citroen.cz/Resources/Content//CZ/07_PDF_gallery/04_techparam_VP/Technicke_parametry_Citroen_C-Zero.pdf)>.
- [44] Žemlička, Vlastimil. 2011. *Citroën C-Zero: Provozní náklady*.
- [45] Černý, Rostislav. 2011. *Náklady na výměnu baterie - Toyota Prius*.
- [46] *Chevrolet Volt: Záruka 8 let/160 tisíc km na baterie | auto.cz* [online]. 2010-07-16 [cit. 2011-11-25]. Chevrolet Volt: Záruka 8 let/160 tisíc km na baterie. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/chevrolet-volt-zaruka-8-let-160-tisic-km-baterie-22314>>.

- [47] BROŽA, Petr. *Toyota Prius: hybrid s nízkou spotřebou (velký test) - 2 .kapitola - AutoRevue.cz* [online]. 2005-04-26 [cit. 2011-11-25]. Toyota Prius: hybrid s nízkou spotřebou (velký test). Dostupné z WWW: <[http://www.autorevue.cz/toyota-prius-hybrid-s-nizkou-spotrebou-velky-test\\_3/ch-23366](http://www.autorevue.cz/toyota-prius-hybrid-s-nizkou-spotrebou-velky-test_3/ch-23366)>.
- [48] *Advantages & Limitations of the Lithium-ion Battery - Battery University* [online]. c2011 [cit. 2011-11-17]. Is Lithium-ion the Ideal Battery?. Dostupné z WWW: <[http://batteryuniversity.com/learn/article/is\\_lithium\\_ion\\_the\\_ideal\\_battery](http://batteryuniversity.com/learn/article/is_lithium_ion_the_ideal_battery)>.
- [49] HORČÍK, Jan. *ČEZ otevřel první stanici pro dobíjení elektromobilů a zahájil výstavbu sítě | Hybrid.cz* [online]. 2011-11-30 [cit. 2011-12-05]. ČEZ otevřel první stanici pro dobíjení elektromobilů a zahájil výstavbu sítě. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/cez-otevrel-prvni-stanici-pro-dobijeni-elektromobilu-zahajil-vystavbu-site>>.
- [50] *Fedor Auto - Přestavba E85* [online]. c2011 [cit. 2011-03-20]. Přestavby na Ethanol E85. Dostupné z WWW: <<http://www.fedorauto.cz/index.php?oid=1974004>>.
- [51] *Přestavby palivo E85 AutoMedik* [online]. c2009 [cit. 2011-04-50]. Přestavby pro palivo E85. Dostupné z WWW: <<http://www.automedik.cz/palivo-prestavby-e85.html>>.
- [52] *Vyšší podíl biosložky v palivu bude - Autonovinky | Autoweb.cz* [online]. 2010-05-27 [cit. 2011-05-19]. Vyšší podíl biosložky v palivu bude. Dostupné z WWW: <<http://www.autoweb.cz/vyssi-podil-bioslozky-v-palivu-bude/>>.
- [53] TREŠL, Marek. *Vozy FORD FFV se zřetelem na použití paliva E85* [online]. 2011-06-23 [cit. 2011-09-17]. Dostupné z WWW: <[http://biopalivafrci.cz/wp-content/uploads/20110623\\_Biopaliva\\_Brno\\_06\\_2011\\_Ford\\_FFV.pdf](http://biopalivafrci.cz/wp-content/uploads/20110623_Biopaliva_Brno_06_2011_Ford_FFV.pdf)>.
- [54] *LPG souprava se sekvenčním vstřikováním - AUTA na PLYN* [online]. c2011 [cit. 2011-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://autanaplyn.cz/>>.
- [55] *AUTOPLYN - montáže LPG a CNG do vozidel, emisní stanice, internetový obchod s náhradními díly* [online]. c2011 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.autolpg.cz/>>.
- [56] *LPG přestavby a servis | Autoplyn-Centrum* [online]. c2006 [cit. 2011-04-26]. Informace o přestavbě na LPG - zkušenosti, rady, odpovědi. Dostupné z WWW: <<http://www.auto-plyn-lpg.cz/sekce/informace-o-lpg>>.

- [57] *ELPEGE | LPG | hlavní komponenty pro přestavbu auta na lpg, nádrže na lpg* [online]. c2011 [cit. 2011-06-10]. LPG PŘESTAVBA - popis. Dostupné z WWW: <<http://www.elpege.cz/lpg-prestavby.html>>.
- [58] *Revize LPG | LPG - Autogas Centrum* [online]. c2010 [cit. 2011-10-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.lpg-autogascentrum.cz/>>.
- [59] *Bezpečnost provozu vozidla na plyn - LPG CNG* [online]. c2011 [cit. 2011-11-25]. Bezpečnost provozu. Dostupné z WWW: <<http://www.gera.cz/bezpecnost.php>>.
- [60] SAJDL, Jan. *Katalyzátor | autolexicon.net* [online]. c2011 [cit. 2011-09-10]. Katalyzátor. Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexicon.net/articles/katalyzator/>>.
- [61] *Homepage bezpečnost - CNG* [online]. c2011 [cit. 2011-05-19]. Homepage bezpečnost. Dostupné z WWW: <<http://www.cng.cz/cs/bezpecnost/>>.
- [62] KLIMÁNKOVÁ, Gabriela. *Vyplatí se přestavba vozidla na LPG, CNG nebo jiná alternativní paliva? - Měšec.cz* [online]. 2009-04-30 [cit. 2011-12-17]. Vyplatí se přestavba vozidla na LPG, CNG nebo jiná alternativní paliva?. Dostupné z WWW: <<http://www.mesec.cz/clanky/vyplati-se-prestavba-vozidla-lpg-cng-elektro-vodik/>>.
- [63] HORČÍK, Jan. *Toyota Prius do zásuvky dostupná v ČR! | Hybrid.cz* [online]. Toyota Prius do zásuvky dostupná v ČR!. 2009-09-04 [cit. 2011-11-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/clanky/toyota-prius-do-zasuvky-dostupna-v-cr>>.
- [64] ŽEMLIČKA, Martin. *Porovnání spotřeby u Octavie: nafta, benzín a LPG - Novinky.cz* [online]. 2011-05-24 [cit. 2011-09-10]. Porovnání spotřeby u Octavie: nafta, benzín a LPG. Dostupné z WWW: <<http://www.novinky.cz/auto/234277-porovnani-spotreby-u-octavie-nafta-benzin-a-lpg.html>>.
- [65] ČERVENKA, Jirka. *Týden s naftou: diesel z druhé ruky je past na kupující! - Rady a tipy | Autoweb.cz* [online]. 2007-07-18 [cit. 2011-10-27]. Týden s naftou: diesel z druhé ruky je past na kupující!. Dostupné z WWW: <<http://www.autoweb.cz/tyden-s-naftou-diesel-z-druhe-ruky-je-past-na-kupujici/>>.
- [66] ŠIKL, Petr. *Filtry pevných částic jsou časovanou bombou* [online]. 2010-08-18 [cit. 2011-11-17]. Filtry pevných částic jsou časovanou bombou. Dostupné z

- WWW: <<http://www.tipcars.com/magazin-filtry-pevných-castic-jsou-casovanou-bombou-4645.html>>.
- [67] VOKÁČ, Luděk. *Spalovací motor do muzea nepatří, úspěšně čelí nástupu elektromobilů* - iDNES.cz [online]. 2011-11-26 [cit. 2011-12-05]. Spalovací motor do muzea nepatří, úspěšně čelí nástupu elektromobilů. Dostupné z WWW: <[http://auto.idnes.cz/spalovaci-motor-do-muzea-nepatri-uspesne-celi-nastupu-elektromobilu-12k-/automoto.aspx?c=A111120\\_233041\\_automoto\\_vok](http://auto.idnes.cz/spalovaci-motor-do-muzea-nepatri-uspesne-celi-nastupu-elektromobilu-12k-/automoto.aspx?c=A111120_233041_automoto_vok)>.
- [68] HORČÍK, Jan. *Test Škoda Octavia 1.6 LPG | Hybrid.cz* [online]. 2010-11-23 [cit. 2011-11-10]. Test Škoda Octavia 1.6 LPG. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/test/skoda-octavia-lpg-16-mpi>>.
- [69] SOUKUP, Petr. *Test: CNG přestavba Škoda Octavia Combi | Hybrid.cz* [online]. 2011-12-02 [cit. 2011-12-17]. Test: CNG přestavba Škoda Octavia Combi. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/test-cng-prestavba-skody-octavia-combi>>.
- [70] ŽEMLIČKA, Martin. *Test Toyoty Prius 1.8 VVT-i: nenápadné setkání s hybridní budoucností* - Novinky.cz [online]. 2010-04-15 [cit. 2011-11-10]. Test Toyoty Prius 1.8 VVT-i: nenápadné setkání s hybridní budoucností. Dostupné z WWW: <<http://www.novinky.cz/auto/testy/197441-test-toyoty-prius-1-8-vvt-i-nenapadne-setkani-s-hybridni-budoucnosti.html>>.
- [71] HORČÍK, Jan. *Test elektromobilu Peugeot iOn - 1000 km a tři týdny s elektrickým autem | Hybrid.cz* [online]. 2011-08-23 [cit. 2011-10-03]. Test elektromobilu Peugeot iOn - 1000 km a tři týdny s elektrickým autem. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/test-elektromobilu-peugeot-ion-1000-km-tri-tydny-s-elektrickym-autem>>.

## **Příloha A – Obsah CD**

Kořenový adresář – Vlastní text diplomové práce ve formátu \*.docx a \*.pdf

Kořenový adresář – Model *LCC* ve formátu \*.xlsm

## **Příloha B – Model *LCC***



Model LCC.xlsm